Deutscher Bundestag
8. Wahlperiode

Drucksache 8/3119

20. 08. 79

Sachgebiet 751

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977"

Einleitung

Der Deutsche Bundestag hat am 14. März 1975 die Bundesregierung ersucht, jährlich einen Bericht über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" vorzulegen, der auch auf die künstliche Strahlenexposition aus kerntechnischen Anlagen, aus der Verwendung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung und Technik, aus beruflicher Tätigkeit, aus medizinischer Anwendung und aus Strahlenunfällen und besonderen Vorkommnissen eingeht. Die bisher auf Grund dieses Beschlusses des Deutschen Bundestages von der Bundesregierung erstatteten Berichte über Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung sind am 5. Februar 1976 als Drucksache 7/4706, am 22. April 1977 als Drucksache 8/311 und am 5. April 1978 als Drucksache 8/1682 erschienen.

Die Ermittlung der gesamten Strahlenexposition der Bevölkerung erfolgt durch eine Vielzahl von Messungen, Erhebungen und Berechnungsverfahren. Hierbei ist es international üblich, bei Berechnungen vor allem auf die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) und des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) zurückzugreifen. Die Ermittlungen der einzelnen Staaten werden dadurch miteinander vergleichbar.

Ein Maß für die Wirkungen der Strahlenexposition auf die Erbsubstanz ist die genetisch signifikante Dosis. Eine Zusammenstellung der genetisch signifikanten Strahlenexposition aus den verschiedenen Strahlenquellen wird in Tabelle 1 gegeben. Daneben enthält dieser Bericht eine Reihe von Angaben über die Strahlenexposition des Ganzkörpers, der Haut, der Knochen, der Lunge und der Schilddrüse, die für die Beurteilung des Strahlenrisikos ebenfalls von Bedeutung sind. Auch bei der Ermittlung dieser Werte sind die internationalen Empfehlungen, insbesondere die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission aus dem Jahre 1977, berücksichtigt worden.

Eine Erläuterung der benutzten Fachausdrücke ist als Anlage beigefügt.

I. Natürliche Strahlenexposition

Der Mensch und seine Umwelt sind seit jeher den Wirkungen von natürlichen Strahlenquellen ausgesetzt. Man unterscheidet dabei zwischen der Strahlenexposition von außen durch die kosmische und durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlung sowie zwischen der Strahlenexposition von innen durch Aufnahme (Inkorporation) natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper.

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition ist von der erdmagnetischen Breite und der Höhe über dem Meeresspiegel abhängig und beträgt in der Bundesrepublik Deutschland in Meereshöhe etwa 30 Millirem (300 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Bei dauern-

Druck: Bonner Universitäts-Buchdruckerei, 5300 Bonn
Alleinvertrieb: Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 20 08 21, Herderstraße 56, 5300 Bonn 2, Telefon (0 22 21) 36 35 51

dem Aufenthalt in 1000 m Höhe über dem Meeresspiegel ist die Strahlenexposition durch kosmische Strahlung um etwa 10 Millirem (100 Mikrojoule/kg) pro Jahr größer. In der hohen Atmosphäre erzeugt die kosmische Strahlung auch Radionuklide wie Tritium und Kohlenstoff 14. Ihr Anteil an der natürlichen Strahlenexposition von außen ist nur sehr gering und kann daher vernachlässigt werden.

Die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen ist auf den Gehalt der Umwelt an Kalium 40, sowie den Radionukliden der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallsreihe zurückzuführen. Je nach dem Gehalt an natürlich radioaktiven Stoffen schwankt auch die Strahlenexposition von außen. Im Freien ist die Strahlenexposition von dem Gehalt des geologischen Untergrundes und vor allem der obersten Bodenschicht an natürlich radioaktiven Stoffen abhängig, in Gebäuden vom Gehalt der verwendeten Baustoffe an natürlich radioaktiven Stoffen. Zahlenwerte über den Gehalt natürlich radioaktiver Stoffe in verschiedenen Gesteinen und im Boden enthält Tabelle 2, entsprechende Daten für Baustoffe Tabelle 3.

Die unter Verwendung eines von Bennet (1970) angegebenen Umrechnungsfaktors berechneten Werte der Keimdrüsendosis durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen im Freien und in Wohnungen in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland enthält Tabelle 4. Die Keimdrüsendosis beträgt im Bundesgebiet im Freien im Mittel 43 Millirem (430 Mikrojoule/kg) pro Jahr [Maximalwert 291 Millirem (2910 Mikrojoule/kg) pro Jahr, Minimalwert 4 Millirem (40 Mikrojoule/kg) pro Jahr], in Wohnungen 57 Millirem (570 Mikrojoule/kg) pro Jahr [Maximalwert 243 Millirem (2430 Mikrojoule/kg) pro Jahr, Minimalwert 11 Millirem (110 Mikrojoule/kg) pro Jahr]. In einzelnen Räumen von Wohnungen wurden sogar 400 Millirem (4000 Mikrojoule/kg) pro Jahr ermittelt.

In Abbildung 1 ist der Anteil der Bevölkerung angegeben, der einer bestimmten Ortsdosisleistung durch die terrestrische Komponente der natürlichen Strahlenexposition von außen ausgesetzt ist. Für die Berechnung wurde angenommen, daß die Messungen in bezug auf die Bevölkerungsdichte repräsentativ sind und sich jede Person entsprechend den Annahmen in den Empfehlungen des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) zu 80 Prozent des Tages im Haus und zu 20 Prozent im Freien aufhält. Die Keimdrüsendosis durch inkorporierte natürlich radioaktive Stoffe beträgt im Mittel etwa 30 Millirem (300 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Sie ist zu rd. 50 Prozent auf den Gehalt des menschlichen Körpers an Kalium, und zwar auf dessen Isotop Kalium 40, zurückzuführen. Kalium wird vor allem in Weichteilen, insbesondere im Muskelgewebe gespeichert. Eine Zusammenstellung der mittleren Keimdrüsendosis und anderen Organdosen durch verschiedene inkorporierte natürliche Stoffe enthält Tabelle 5.

In letzter Zeit wird der Strahlenexposition der Lunge durch Inhalation natürlich radioaktiver Stoffe weltweit besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Sie beträgt in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel etwa 200 Milirem (2000 Mikrojoule/kg) pro Jahr für die gesamte Lunge. Im Rahmen eines Forschungsprogramms des Bundesministers des Innern wird die Strahlenexposition der Lunge durch Inhalation im Freien und in Wohnungen ermittelt. Erste Ergebnisse lassen darauf schließen, daß die Strahlenexposition der Lunge in Räumen mit sehr geringem Luftwechsel je nach dem verwendeten Baustoff bis zum Hundertfachen des mittleren Wertes betragen kann.

Zivilisatorisch bedingte Veränderung der Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen

Technische Entwicklungen haben zu einer Veränderung der Strahlenexposition aus natürlichen Quellen geführt, ohne daß eine erhöhte Strahlenexposition das Ziel dieser Entwicklung gewesen ist. Beispiele für veränderte Strahlenexpositionen, die ohne die technische Entwicklung nicht in diesem Maße auf den Menschen einwirken würden, sind u. a.

— die Strahlenexposition durch das Fliegen in großen Höhen

— die Strahlenexposition durch Kohlekraftwerke

— die Strahlenexposition durch die industrielle und landwirtschaftliche Nutzung von Phosphatprodukten und

— die Strahlenexposition durch die Verwendung von Baustoffen, die einen erhöhten Gehalt an natürlich radioaktiven Stoffen haben.

Als Folge der Entwicklung von Düsen- und Überschallverkehrsflugzeugen hat sich die Flughöhe bei Langstreckenflügen auf 10 000 bis 20 000 m verlagert. Die Flugreisenden werden bei diesen Flügen einer gegenüber der Erdoberfläche erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Diese kann bis zu 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Flugstunde betragen.

Wenn auch Kohle im Mittel einen niedrigeren Gehalt an natürlich radioaktiven Stoffen hat als viele Gesteine der Erdkruste, werden doch bei der Verbrennung von Kohle natürlich radioaktive Stoffe mit der Abluft in die Atmosphäre abgegeben. Durch die Verbrennung großer Mengen von Kohle gibt ein Kohlekraftwerk jährlich mehrere Millicurie natürlich radioaktiver Stoffe ab. Die Frage der Strahlenexposition durch Emissionen natürlich radioaktiver Stoffe aus Kohlekraftwerken hat in letzter Zeit im Zusammenhang mit der Emission radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen weltweites Interesse gefunden. In verschiedenen Untersuchungen wurde berechnet, daß die Strahlenexposition durch Kohlekraftwerke ein Mehrfaches der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke beträgt. In der Bundesrepublik Deutschland hat die Strahlenschutzkommission beim Bundesminister des Innern eine Arbeitsgruppe

Gemäß Beschluß des Deutschen Bundestages vom 14. März 1975 zugeleitet mit Schreiben des Bundesministers des Innern — RS II 2 — 515 883/9 — vom 16. August 1979.

eingesetzt, die die für eine abschließende Beurteilung noch offenen Fragen klären soll.

Seit längerem ist bekannt, daß Rohphosphate je nach Herkunft einen gegenüber der mittleren spezifischen Aktivität der Erdkruste bis auf das Fünfzigfache erhöhten Gehalt an Uran und Radium haben. Mit der jährlichen Einfuhr von rd. 3 Millionen Tonnen Rohphosphat in die Bundesrepublik Deutschland werden auch etwa 150 Tonnen im Rohphosphat enthaltenes Uran und damit etwa 100 Curie ($3,6 \cdot 10^{12}$ Becquerel) Radium 226 eingeführt. Bei der Herstellung und Lagerung von Phosphatdüngemitteln wird eine kleine Gruppe der damit beschäftigten Personen einer zusätzlichen Strahlenexposition von etwa 40 Millirem (400 Mikrojoule/kg) pro Jahr ausgesetzt. Die maximale zusätzliche Strahlenexposition von Einzelpersonen in der Landwirtschaft (Verwender) beträgt demgegenüber 0,4 Millirem (4 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur Ermittlung der Schwankungsbreite der Strahlenexposition von außen im Freien und in Wohnungen wurde auch der Einfluß der Baustoffe untersucht, insbesondere der Baustoffe mit einem erhöhten Gehalt an natürlich radioaktiven Stoffen. Beispiele solcher Baustoffe sind der bei der Phosphatdüngemittel-Herstellung als Abfallprodukt entstehende Chemiegips mit einem mittleren Radium-226-Gehalt von etwa 15 Nanocurie (560 Becquerel) pro kg und der im Saarland weit verbreitete Betonstein mit Schlackenzuschlag (mittlerer Radium-226-Gehalt etwa 4 Nanocurie (150 Becquerel) pro kg, mittlerer Thoriumgehalt etwa 3 Nanocurie (110 Becquerel) pro kg. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß die Strahlenexposition in einem Raum nicht nur von der spezifischen Aktivität des Baustoffes, sondern auch von der Menge und Dichte des Baustoffes abhängt. So liegt z. B. die zusätzliche Strahlenexposition in einem Raum mit Chemiegips-Wänden über 10 Millirem (100 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Dagegen ist die Strahlenexposition in einem Raum, in dem 9 — 12 mm starke Gipskartonplatten aus Chemiegips als innerer Abschluß verwendet worden sind, kaum erhöht.

II. Künstliche Strahlenexposition

1 Kerntechnische Anlagen

1.1 Allgemeines

Eine strenge Anwendung der Strahlenschutzvorschriften und entsprechende technische Maßnahmen in den kerntechnischen Anlagen haben auch 1977 sichergestellt, daß die in Abluft und Abwasser von kerntechnischen Anlagen in geringen Mengen enthaltenen radioaktiven Stoffe die Strahlenexposition der Bevölkerung nur ganz geringfügig erhöhen. Die Abgaben werden durch ständige Messungen in Abluft und Abwasser ermittelt. Zusätzlich werden Überwachungsmessungen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen durchgeführt.

Eine Übersicht über die 1977 in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland gibt Tabelle 6. Darüber hinaus enthält der Bericht Angaben über die Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich sowie die kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe der Firmen NUKEM GmbH in Hanau, der Reaktor-Brennelement Union GmbH in Hanau und in Karlstein und der ALKEM GmbH in Hanau.

1.2 Abgabedaten kerntechnischer Anlagen im Jahre 1977

Eine Übersicht über die für 1977 ermittelten Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken gibt Tabelle 7. Die Tabelle beruht auf amtlichen Meldungen und ergänzenden Erhebungen und Messungen des Bundesgesundheitsamtes. Die zeitliche Entwicklung der Jahresabgabe radioaktiver Stoffe in Abwasser und Abluft aus Kernkraftwerken seit ihrer Inbetriebnahme zeigt Tabelle 8. Alle Abgabedaten und Meßergebnisse werden in Berichten des Bundesgesundheitsamtes dokumentiert und veröffentlicht.

In Tabelle 9 sind die Angaben über die Ableitungen radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich im Jahre 1977 zusammengefaßt. Sie sind wie in den Vorjahren den Jahresberichten der Strahlenschutzabteilungen dieser Forschungszentren entnommen.

In Tabelle 10 werden Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben gemacht. Auch hier führte das Bundesgesundheitsamt ergänzende Messungen der Nuklidzusammensetzungen in Abluft und Abwasser durch.

1.3 Berechnete Höchst- und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevölkerung

Die Auflistung der Jahresabgaben der radioaktiven Stoffe dient vor allem dem Vergleich. Entscheidend für den Strahlenschutz sind die daraus berechneten Werte der Strahlenexposition des Menschen. Diese Berechnung wurde auf der Basis der erhobenen Abgabedaten und unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse durchgeführt, und zwar unter Verwendung der von der Strahlenschutzkommission empfohlenen Berechnungsgrundlagen für die Bestimmung der Strahlenexposition durch Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft und durch radioaktive Einleitungen in Fließgewässer.

In den Berichten der Vorjahre wurden Höchstwerte und Mittelwerte der Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Abgabe radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen wie folgt angegeben: Für die Abgabe radioaktiver Edelgase die Strahlenexposition des Ganzkörpers durch Gammasubmersion, für die Abgabe von Jod 131 in Luft während der Weidezeit die Strahlenexposition der Schilddrüse eines Kleinkindes durch Ingestion von Milch, für die Abgabe von Kohlenstoff-14 in Luft die Strahlenexposition der Knochen eines Erwachsenen durch Ingestion pflanzlicher und tierischer Nahrung. Zusätzlich wurde die mittlere Keimdrüsenexposition der Bevölkerung über Gammasubmersion durch die abgeleiteten Edelgase für den Umkreis bis 3 km und bis 20 km berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahre 1977 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radio-

aktiver Stoffe mit der Abluft sind in Tabelle 11 zusammengefaßt. Angegeben ist nunmehr die Strahlenexposition für den Ganzkörper eines Erwachsenen durch äußere Bestrahlung, und zwar durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne (Gammasubmersion) sowie durch Gammastrahlung aus der Ablagerung radioaktiver Stoffe am Boden, weiterhin die Strahlenexposition durch innere Bestrahlung aus Ingestion und Inhalation radioaktiver Stoffe für den Ganzkörper und die Knochen eines Erwachsenen sowie für die Schilddrüse eines Kleinkindes.

Die Ganzkörperdosis durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne wird hierbei durch die während des Jahres emittierten radioaktiven Edelgase bestimmt. Die Ganzkörperdosis durch Gammastrahlung aus der Ablagerung radioaktiver Stoffe am Boden wird für das Berichtsjahr berechnet unter Berücksichtigung der in den Vorjahren emittierten Aktivität der langlebigen radioaktiven Aerosole und ihrer Akkumulierung im Boden. Bei den Kernkraftwerken Kahl und Lingen konnten die ersten Betriebsjahre nicht berücksichtigt werden, da für diese Zeit keine Abgabedaten für die langlebigen radioaktiven Aerosole vorliegen. In den Betriebsjahren, für die Meßwerte der Nuklidzusammensetzung der radioaktiven Aerosole nicht verfügbar sind, wurde von der in den genannten Berechnungsgrundlagen angegebenen Zusammensetzung ausgegangen.

Bei der Berechnung der inneren Bestrahlung aus Ingestion und Inhalation der emittierten radioaktiven Stoffe sind in diesem Bericht nicht nur sämtliche Expositionspfade, die hierzu beitragen, sondern auch jeweils alle abgegebenen Radionuklide berücksichtigt. Die Ganzkörperdosis eines Erwachsenen aus Ingestion und Inhalation ist jedoch im wesentlichen bestimmt durch den emittierten Kohlenstoff 14. Ferner trägt die am Boden abgelagerte Aktivität zur Ingestionsdosis bei, wobei hier ebenfalls der Akkumulierung aus den Vorjahren Bedeutung zukommt. Bei den Knochen eines Erwachsenen ist die angegebene Dosis überwiegend auf die Ingestion von Kohlenstoff 14 zurückzuführen. Bei der Schilddrüse eines Kleinkindes ist der Expositionspfad Weide — Kuh — Milch für Jod 131 bestimmend, der wie in den Vorjahren unter der üblichen Annahme des Verzehrs von 0,8 Liter Milch pro Tag von einer ausschließlich im Hauptbeaufschlagungsgebiet weidenden Kuh unter Berücksichtigung der Abgabe von Radiojod während der Weidezeit berechnet wird.

Die maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers eines Erwachsenen kann jetzt — wie in Tabelle 12 angegeben — über sämtliche Expositionspfade summiert werden. Zusätzlich wird die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung im Umkreis von 0 bis 3 km und 0 bis 20 km um die einzelnen Anlagen für den Ganzkörper eines Erwachsenen angegeben.

Die Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser wurde in den Vorjahren wie folgt dargestellt: Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen über Trinkwasser, Verzehr von Fisch und landwirtschaftlichen Produkten sowie die Gesamtstrahlenexposition des Ganzkörpers über diese Expositionspfade (einschließlich der Bestrahlung am Ufer). Die mittlere Strahlenexposition der hier in Betracht zu ziehenden Gruppen der Bevölkerung wurde für den Ganzkörper als Summe über die genannten Belastungspfade angegeben.

Die Werte für das Jahr 1977 sind in Tabelle 13 entsprechend angegeben. In die Tabelle wurde zusätzlich jedoch die Strahlenexposition der Knochen über die genannten Expositionspfade aufgenommen. In Tabelle 14 sind den Ganzkörperdosiswerten von Einzelpersonen die Werte von Gruppen aus der Bevölkerung gegenübergestellt, für die eine Nutzung der Vorfluter in Betracht zu ziehen ist. Hierbei sind bei Einzelpersonen extreme Verzehr- und Lebensgewohnheiten angenommen (Tabelle 13, Fußnote) und bei Gruppen aus der Bevölkerung für die zu berücksichtigenden Nutzungen durchschnittliche Gewohnheiten zugrunde gelegt. In den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Isar wurden während der Inbetriebnahmezeit Abgaben von Phosphor 32 mit dem Abwasser gemessen. Die hierdurch bedingte Strahlenexposition der Knochen beträgt zusätzlich zu den in Tabelle 13 angegebenen Werten maximal 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg).

Die Dosiswerte für andere Organe, wie Leber, Niere, Lunge und Magen-Darm-Trakt, sind sowohl bei der Ableitung radioaktiver Stoffe in Luft wie in Wasser nicht angegeben. Sie liegen im allgemeinen in dem gleichen Bereich. Die Einzelheiten der Berechnung der verwendeten Daten werden in Berichten des Bundesgesundheitsamtes vollständig dokumentiert und veröffentlicht.

Die in Tabelle 15 angegebenen Werte für die Strahlenexposition durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernforschungszentren sind den Jahresberichten der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich entnommen. Für das Abwasser kann auf Grund der Emissionsdaten und der Meßwerte der Umgebungsüberwachung abgeschätzt werden, daß die maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers von Einzelpersonen 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr nicht überschreitet. Eine detaillierte Rechnung wurde deshalb nicht durchgeführt.

In Tabelle 16 sind die für die ungünstigste Einwirkungsstelle berechneten Inhalationsdosen der Lunge eines Kleinkindes durch die Emission von Alphastrahlern in der Abluft der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe in Hanau und Karlstein angegeben. Auf Grund der Art der abgegebenen Nuklide ergibt sich aus den Berechnungen, daß die Lunge der wesentliche Expositionspfad ist.

In Tabelle 17 ist die für Einzelpersonen und Gruppen der Bevölkerung berechnete Strahlenexposition infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser angegeben.

1.4 Ergebnis

Die Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen zeigen für 1977 keine wesentlichen Abweichungen von den Werten der vorhergehenden Jahre.

Die aus den Abgaben berechneten Höchstwerte der Strahlenexposition von Einzelpersonen haben die

in der neuen Strahlenschutzverordnung vom 13. Oktober 1976 angegebenen Dosisgrenzwerte nicht überschritten. Gegenüber 1976 zeigen die berechneten Höchst- und Mittelwerte der Strahlenexposition allgemein keine wesentlichen Unterschiede, obwohl in den neuen Tabellen der Strahlenexposition durch die Emission von radioaktiven Stoffen mit der Abluft alle Expositionspfade und Nuklide summiert wurden. Die berechneten Höchstwerte der Ganzkörperdosis in der unmittelbaren Umgebung der kerntechnischen Anlagen sind wesentlich kleiner als die Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Ableitungen aller Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland sind geringfügig. Dies zeigt erneut eine vom Bundesgesundheitsamt durchgeführte Erhebung für das Jahr 1977.

Bei den Kernkraftwerken wurde 1977 die höchste Abgabe von radioaktiven Edelgasen beim Kernkraftwerk Biblis Block B, die höchste Abgabe von Radiojod beim Kernkraftwerk Neckarwestheim gemessen. Im Vergleich zu 1976 ist die Gesamtabgabe an radioaktiven Edelgasen sowie an Jod-131 zurückgegangen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Kernkraftwerke Gundremmingen und Lingen praktisch das ganze Jahr 1977 über nicht in Betrieb waren.

Beim Abwasser lagen die Ableitungen (ohne Tritium) von nur drei Kernkraftwerken mit Siedewasserreaktoren nach Messungen des Bundesgesundheitsamtes über 1 Curie ($3{,}7 \cdot 10^{10}$ Becquerel). Bemerkenswert ist im Vergleich zu den Vorjahren die Reduktion der Abgabenhöhe auf 200 Millicurie ($7{,}4 \cdot 10^{9}$ Becquerel) beim Kernkraftwerk Obrigheim. Sie wurde durch innerbetriebliche Maßnahmen erreicht.

Nach Messungen des Bundesgesundheitsamtes betrugen die Abgaben von Phosphor 32 beim Kernkraftwerk Isar 30 Millicurie ($1{,}1 \cdot 10^{9}$ Becquerel) und beim Kernkraftwerk Brunsbüttel ca. 40 Millicurie ($1{,}5 \cdot 10^{9}$ Becquerel).

Die Tabellen der berechneten maximalen Strahlenexposition weisen im Falle der äußeren Bestrahlung als Höchstwerte an den ungünstigsten Einwirkungsstellen beim Kernforschungszentrum Karlsruhe eine Ganzkörperdosis von 13 Millirem (130 Mikrojoule/kg) pro Jahr durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne auf. Im Jahr 1976 lag der entsprechende Wert bei 18 Millirem (180 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Bei den Kernkraftwerken zeigen die Tabellen 11 und 12 als Höchstwert der Ganzkörperdosis durch Gammastrahlung aus der Abluftfahne, Ablagerung am Boden, Ingestion und Inhalation 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Hierzu trägt die Gammastrahlung aus der Abluftfahne 0,3 Millirem (3 Mikrojoule/kg) pro Jahr bei; im Jahr 1976 waren es 0,4 Millirem (4 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Der Beitrag der durch Ablagerung am Boden verursachten Gammastrahlung ist vergleichsweise niedrig.

Bei der inneren Bestrahlung ergibt sich für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes aus der gesamten Ingestion und Inhalation ein Höchstwert von 10 Millirem (100 Mikrojoule/kg) pro Jahr; 1976 war der Wert der Schilddrüsendosis eines Kleinkindes durch Ingestion von Jod 131 in Milch 40 Millirem (400 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Die maximale Knochendosis eines Erwachsenen über Ingestion und Inhalation beträgt 0,7 Millirem (7 Mikrojoule/kg) pro Jahr; 1976 ergab sich durch Ingestion von Kohlenstoff-14 ein Schätzwert von 0,9 Millirem (9 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Bei den kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben liegt der Höchstwert der Lungendosis durch Inhalation bei 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr; 1976 waren es 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Bei der Strahlenexposition von Einzelpersonen durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abwasser resultiert rechnerisch wie in den Vorjahren der wesentliche Beitrag aus dem mit 39 kg sehr hoch angenommenen Verzehr von Fischen, die sich ständig im Kühlwasserauslauf der Kernkraftwerke aufgehalten haben. Der höchste Wert wurde bei Gundremmingen für den Ganzkörper mit 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Jahr berechnet. Bei allen anderen Kernkraftwerken lag die Strahlenexposition von Einzelpersonen unter 0,2 Millirem (2 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Die Strahlenexposition des Ganzkörpers für Gruppen aus der Bevölkerung, für welche die Nutzung der Vorfluter unterhalb der Kernkraftwerke nicht auszuschließen ist, wird für das Kernkraftwerk Gundremmingen zu 0,2 Millirem (2 Mikrojoule/kg) pro Jahr geschätzt. Bei den meisten anderen Kernkraftwerken lag sie unter 0,01 Millirem (0,1 Mikrojoule/kg) pro Jahr. Die Werte der Strahlenexposition des Ganzkörpers unterscheiden sich damit nicht wesentlich von den Werten des Jahres 1976. Die Strahlenexposition der Knochen liegt bei den meisten Kernkraftwerken nur geringfügig höher als die des Ganzkörpers. Beim Kernkraftwerk Gundremmingen besteht wegen der besonderen Abwasseraufbereitungsverfahren ein relativ hoher Anteil der Abgabe aus Strontiumisotopen. Da für diese die Knochen kritisches Organ sind, führt die Modellrechnung zu einer Dosis von 8 Millirem. Allerdings beträgt diese Dosis ebenso wie die berechnete Ganzkörperdosis von 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Jahr weniger als 10 Prozent des Dosisgrenzwertes nach der Strahlenschutzverordnung. Die bei den Kernkraftwerken Brunsbüttel und Isar erstmals festgestellten Abgaben von Phosphor 32 führten zu einer Knochendosis von maximal 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr über Fischverzehr.

Die durch Abwasserableitungen aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben bedingte Strahlenexposition des Ganzkörpers ist mit maximal 0,09 Millirem (0,9 Mikrojoule/kg) pro Jahr für Einzelpersonen nicht höher als bei den meisten Kernkraftwerken.

Die in den Tabellen angegebenen Werte der Strahlenexposition für Einzelpersonen und die Bevölkerung sind unter Annahmen berechnet worden, die zu einer erheblichen Überschätzung der tatsächlich auftretenden Strahlenexposition führen. Die tatsächliche durch die Emission radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus kerntechnischen Anlagen verursachte Strahlenexposition dürfte selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zumeist

im Bereich von Bruchteilen eines Millirem (einigen Mikrojoule/kg) pro Jahr bis zu einigen Millirem (einigen 10 Mikrojoule/kg) pro Jahr gelegen haben. Die Summierung aller Beiträge zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auch 1977 zu deutlich weniger als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr genetisch signifikanter Dosis in der Bundesrepublik Deutschland.

2 Verwendung von radiokativen Stoffen und ionisierenden Strahlen in Forschung, Technik und Haushalten

2.1 Industrieerzeugnisse

Zahlreiche Industrieerzeugnisse, wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Rauch- und Feuermelder, keramische Gegenstände u. a. enthalten radioaktive Stoffe verschiedenster Art und Menge. Tabelle 18 gibt einen Überblick über das breite Anwendungsgebiet dieser radioaktive Stoffe enthaltenden Industrieerzeugnisse und zusätzlich die Art der verwendeten Radionuklide.

Der Nutzen der radioaktiven Stoffe in diesen Erzeugnissen ist von unterschiedlicher Bedeutung für den Benutzer bzw. Verbraucher.

Ionisationsrauchmelder mit radioaktiven Stoffen sind unter Umständen lebensrettende Einrichtungen in Theatern, Hotels, Kinos und dgl. Notbeleuchtungen mit Gasleuchtröhren, die einen radioaktiven Zusatz enthalten, funktionieren auch dann, wenn andere Energiequellen zum Betrieb dieser Beleuchtungskörper ausfallen. Technische Geräte, wie Prüfstrahler und Eichstrahler, dienen der Kalibrierung und Funktionskontrolle von Strahlungsmeßgeräten; sie sind für diesen Zweck unersetzlich. Radioaktive Stoffe in wissenschaftlichen Geräten tragen dazu bei, die Leistungsfähigkeit dieser Geräte zu erhöhen bzw. machen den Einsatz dieser Geräte überhaupt erst möglich. Radioaktive Stoffe in elektronischen Bauteilen, wie Elektronenröhren, lassen diese Geräteteile energiesparender und funktionssicherer arbeiten als ohne diese Zusätze. Bei manchen Herstellungsverfahren, wie z. B. bei schnellaufenden Druckereipressen, bei Verpackungsmaschinen, bei der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffolien kommt es zur Entstehung starker elektrostatischer Aufladungen, die erhebliche Gefahrenquellen darstellen können. In Antistatika enthaltene radioaktive Stoffe helfen diese Gefahren zu beseitigen.

Leuchtfarben werden in Gegenwart eines radioaktiven Stoffes zur Lumineszenz angeregt. Auf Skalen und Zeigern finden diese Leuchtmassen in Instrumenten der Schiff- und Luftfahrt sowie in Armbanduhren Verwendung. Sie erlauben ein Ablesen dieser Instrumente auch in der Dunkelheit.

In manchen metallischen, aber auch in anderen Werkstoffen sind radioaktive Stoffe enthalten, entweder weil sie als sogenannte „Radioindikatoren" absichtlich zugegeben wurden, um den Produktionsablauf zu überwachen oder gleichbleibende Qualität der Endprodukte sicherzustellen, oder weil sie die Qualität des Endproduktes verbessern. Uranfarben in der Bemalung von keramischen Gegenständen und Glaswaren dienen vorwiegend der Verschönerung dieser Produkte.

Ein mögliches Risiko für die Bevölkerung durch den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen hängt nicht nur von der Art und Menge der enthaltenen Radionuklide sowie deren Verarbeitung ab, sondern auch von der allgemeinen Verbreitung dieser radioaktiven Industrieerzeugnisse. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen, d. h. die Herstellung, die Bearbeitung, die Lagerhaltung, der Gebrauch sowie der Handel und die Beseitigung wird daher in der Bundesrepublik Deutschland durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, bei dem auch ein unter bestimmten Voraussetzungen genehmigungsfreier Umgang ermöglicht wird. Eine Umgangsgenehmigung ist z. B. nicht erforderlich für Geräte, Instrumente oder andere Einrichtungen mit umschlossenen radioaktiven Stoffen, deren Bauart von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt geprüft ist und die von der zuständigen Landesbehörde zugelassen worden sind.

Auf Grund dieser vielschichtigen gesetzlichen Sicherheitsvorkehrungen und der Anwendung des Grundsatzes, daß mit der Anwendung ein Nutzen verbunden sein muß, ist gewährleistet, daß der Beitrag zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Industrieerzeugnissen kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr ist.

2.2 Störstrahler

Störstrahler sind Anlagen, Geräte oder Vorrichtungen, in denen Röntgenstrahlen erzeugt werden, ohne daß sie zu diesem Zweck betrieben werden. Zu den genehmigungspflichtigen Störstrahlern gehören Elektronenmikroskope, Mikrowellenklystrons, Thyratrons Hochspannungsgleichrichter und spezielle Fernseheinrichtungen. Zur Strahlenexposition der gesamten Bevölkerung tragen Störstrahler dieser Art nicht nennenswert bei, da nur wenige Personen während iher beruflichen Tätigkeit mit diesen Geräten umgehen.

Auch normale Fernsehgeräte sind nach den Bestimmungen der Röntgenverordnung Störstrahler. Allerdings wird bei den meisten Geräten die nach der Röntgenverordnung höchstzulässige Ortsdosisleistung von 0,5 Millirem (5 Mikrojoule/kg) pro Stunde in 5 cm Abstand von der Oberfläche beträchtlich unterschritten. Im üblichen Abstand von dem Gerät beträgt die Ortsdosisleistung weniger als ein Tausendstel dieses Betrages. Eine Abschätzung der mittleren Strahlenexposition der Bevölkerung durch Fernsehgeräte ergibt weniger als 0,7 Millirem (7 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

3 Berufliche Tätigkeit

Beruflich strahlenexponierte Personen gelten als spezielle Bevölkerungsgruppe, für die durch besondere Strahlenschutzvorschriften (Strahlenschutzverordnung, Röntgenverordnung) höhere Expositionsgrenzwerte zugelassen sind als für die übrige Bevölkerung. Ein Teil dieser Personengruppe, bei dem ein erhöhtes Expositionsrisiko zu vermuten ist, wird

mit Personendosimetern überwacht. Die Zahl der Personen, die im Jahre 1977 von amtlichen Meßstellen mit Personendosimetern überwacht wurden, betrug 133 169 (davon 99 213 im Bereich Medizin) gegenüber 120 406 im Jahre 1976 (davon 91 766 im Bereich Medizin). Bei weniger als 2 Promille der überwachten Personen wurden Überschreitungen der Dosisgrenzwerte festgestellt.

Die Höhe der mittleren Strahlenexposition der überwachten Personen lag bei rd. 80 Millirem (800 Mikrojoule/kg) im Jahre 1977. Ein Vergleich mit der Schweiz zeigt, daß dort diese Gruppe etwa im gleichen Maße exponiert wurde.

Im Jahr 1977 benutzten insgesamt 8 246 Verwender mit 19 321 Genehmigungen (einschließlich der Genehmigungen zum Betrieb von Anlagen zur Erzeugung ionisierender Strahlen und der Beförderungsgenehmigungen) offene radioaktive Stoffe. Davon waren 2470 Verwender in der Medizin und Forschung und 590 Verwender in der gewerblichen Wirtschaft tätig. 231 davon verwendeten radioaktive Leuchtfarben (Streichereien, Montagebetriebe und Uhrmacher).

Personen, bei denen auf Grund ihres Umganges mit offenen radioaktiven Stoffen eine Inkorporation nicht ausgeschlossen werden kann, werden durch Ganzkörper- oder Ausscheidungsmessungen überwacht. Die Auswertung der Meßergebnisse hat ergeben, daß 1977 die Grenzwerte nur gelegentlich überschritten wurden.

Der Beitrag der durch Ganzkörpermessungen oder Messung der Ausscheidungen überwachten beruflich strahlenexponierten Personen zur genetisch signifikanten Strahlenexposition der Gesamtbevölkerung ist kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) im Jahr.

4 Medizinische Anwendung

Die Röntgendiagnostik verursacht den größten Teil der künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung. Röntgendiagnostische Untersuchungen sind jedoch für den einzelnen Patienten bei gegebener Indikation sowohl im Sinne der Krankheitserkennung als auch der Verlaufskontrolle von hohem Nutzen. Große Unterschiede in der Strahlenexposition in der Größenordnung von mehr als 1 : 100 sind durch unterschiedliche, häufig nicht optimale Untersuchungsbedingungen und mangelnde Fachkunde der Ausführenden bedingt.

In Tabelle 19 sind Hautoberflächendosen, Keimdrüsendosen und Knochenmarkdosen bei Röntgenuntersuchungen für Erwachsene angegeben, die zu hohen Werten führen. Hierbei wurden sowohl Expositionsdaten des Berichtes des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) aus dem Jahre 1977 als auch Werte aus laufenden Untersuchungen des Bundesgesundheitsamtes berücksichtigt. — Da die für den untersuchten Patienten resultierende Strahlenexposition von zahlreichen Parametern abhängt, sind sowohl Mittelwerte als auch Schwankungsbereiche angegeben. Expositionswerte für Kinder sind im Jahresbericht 1976 „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" des Bundesministers des Innern aufgeführt. Sie haben sich seither nicht geändert.

Nach Erhebungen des Bundesgesundheitsamtes werden zur Zeit jährlich 1700 bis 1800 Röntgenuntersuchungen pro 1000 Personen der Bevölkerung durchgeführt. Davon erfolgen etwa 1100 aus medizinischer Indikation, etwa 300 aus zahnmedizinischer Indikation und etwa 300 Untersuchungen im Rahmen der Vorsorgemedizin. — Die Abschätzungen der Häufigkeit von Untersuchungen im Bereich der Zahnmedizin sind noch unvollständig. Möglicherweise liegt die Häufigkeit dieser Untersuchungen höher.

Nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren sind zu unterteilen in in-vivo-Untersuchungen, bei denen dem Patienten ein radioaktives Arzneimittel verabreicht wird, und in in-vitro-Untersuchungen von Körperflüssigkeiten mit Hilfe radioaktiver Stoffe in Laboratorien, in deren Verlauf der Patient selbst nicht mit Radioaktivität in Berührung kommt.

An nuklearmedizinischen in-vivo-Untersuchungen wurden 1977 in der Bundesrepublik Deutschland, hochgerechnet aus Erhebungen für Berlin (West) aus dem Jahr 1975, etwa 45 pro 1000 Personen der Bevölkerung durchgeführt. Die daraus resultierende genetisch signifikante Dosis dürfte etwa 2 Millirem (20 Mikrojoule/kg) pro Jahr betragen. Werte der mit den häufigsten dieser Untersuchungsverfahren verbundenen Strahlenexposition von Keimdrüsen, rotem Knochenmark und untersuchtem bzw. kritischem Organ sind in Tabelle 20 zusammengestellt. Die außerordentlich hohe Strahlenexposition der Schilddrüse bei der immer noch häufig mit Jod 131 durchgeführten Schilddrüsen-Diagnostik (Szintigraphie und Funktionsuntersuchung) kann durch Verwendung kurzlebiger Radionuklide in Verbindung mit in-vitro-Tests vermieden werden. Generell liegt der Schwerpunkt in der Weiterentwicklung der nuklearmedizinischen in-vivo-Diagnostik auf dem Gebiet der Entwicklung von radioaktiven Arzneimitteln, die mit kurzlebigen Radionukliden markiert sind. In diesem Zusammenhang kommt Jod 123 neben Technetium 99m besondere Bedeutung zu. Der durch den Umgang mit höheren Aktivitäten kurzlebiger Radionuklide möglichen größeren Strahlenexposition des Personals kann durch geeignete Strahlenschutzmaßnahmen begegnet werden.

Die Zahl der mit radioaktiven Stoffen durchgeführten in-vitro-Untersuchungen zeigte auch 1977 eine stark steigende Tendenz. Die gegenwärtigen Strahlenschutzbemühungen konzentrieren sich daher nicht nur auf den Gehalt radioaktiver Stoffe im Abwasser, sondern auch in der Raum- und Abluft von Behandlungsräumen. Auch der Radionuklidgehalt der Raumluft in Zimmern von Patienten, die mit Jod 131 behandelt wurden, ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

Vom Bundesgesundheitsamt in einigen Bereichen der Bundesrepublik Deutschland durchgeführte Untersuchungen und Erhebungen zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Strahlentherapie haben ergeben, daß strahlentherapeutische Maßnahmen jährlich bei etwa 8 pro 1000 Personen der Bevölkerung durchgeführt werden; davon entfallen etwa 5 pro 1000 Personen auf bösartige Erkrankungen. Der Beitrag der Strahlentherapie gutartiger Erkrankun-

gen zur genetisch signifikanten Dosis liegt bei etwa 1,3 Prozent der gesamten genetisch signifikanten Dosis der Bevölkerung aus der künstlichen Strahlenexposition und ist somit für strahlenhygienische Betrachtungen von untergeordneter Bedeutung. Der Beitrag zur genetisch signifikanten Dosis durch die Strahlenbehandlung bösartiger Erkrankungen wurde — wie in früheren Erhebungen — in der Tabelle nicht berücksichtigt, da die Kindererwartung dieser Patienten vernachlässigbar klein ist.

Nachdem in den letzten Jahren nichtnukleare Batterien für Herzschrittmacher mit einer Betriebsdauer bis zu 10 Jahren entwickelt wurden, sind 1977 Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien nicht mehr implantiert worden. Trotz der mit dem Tragen eines Radionuklid-Herzschrittmachers verbundenen Strahlenexposition bestehen keine Gründe, die restlichen Herzschrittmacher mit Radionuklidquelle zu explantieren, da das Risiko des operativen Eingriffs größer ist als das Risiko einer Schädigung durch die Strahlenexposition des betreffenden Herzschrittmacherträgers. Von den 1977 gemeldeten 30 Explantationen erfolgten 5 wegen Tod des Patienten und 25 aus medizinischer Indikation.

Am 31. Dezember 1977 waren von 346 bisher insgesamt implantierten Herzschrittmachern mit Radionuklidbatterie noch 242 implantiert, davon 204 länger als 3 Jahre und 51 länger als fünf Jahre.

Im Jahre 1977 wurden vom Bundesgesundheitsamt drei Gutachten zur Genehmigung klinischer Prüfungen von mit radioaktiven Stoffen markierten Arzneimitteln an gesunden Testpersonen bearbeitet. Es handelte sich ausschließlich um die Anwendung von mit Kohlenstoff 14 markierten Substanzen mit Aktivitäten zwischen 80 und 100 Mikrocurie ($3 \cdot 10^6$ und $3{,}7 \cdot 10^6$ Becquerel) an insgesamt 21 Testpersonen. Die drei Anträge wurden vom Bundesgesundheitsamt befürwortet.

5 Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse

Im Berichtsjahr 1977 wurden folgende Strahlenzwischenfälle gemeldet:

Bei Durchstrahlungsprüfungen mittels eines Radiographiegerätes (Iridium 192) erfolgte eine Verklemmung der Strahlerkapsel, so daß diese nicht mehr in den Arbeitsbehälter zurückgefahren werden konnte. Ursache war die Ablösung eines gelöteten Geräteteiles, wodurch der mechanische Ablauf behindert wurde. Bei dem Versuch des Beschäftigten, die Rückführung manuell gewaltsam herbeizuführen, erfolgte eine Strahlenexposition der Hände von ca. 500 rem (5 Joule/kg). Die Ganzkörperexposition wurde auf unter 1 rem (10 000 Mikrojoule/kg) geschätzt. Es traten vorübergehende Strahlenreaktionen an den Fingern auf. Die erforderlichen Maßnahmen, wie Untersuchung durch den ermächtigten Arzt, wurden umgehend eingeleitet. Die Herstellerfirma wurde aufgefordert, die notwendigen technischen Verbesserungen vorzunehmen. Bleibende Schäden für den Beschäftigten sind nicht wahrscheinlich.

Bei Materialdurchleuchtungsprüfungen an Aluminiumfelgen mittels Röntgenstrahlen versagte der Blendenverschlußmechanismus. Die Beschäftigte erhielt eine Strahlendosis von ca. 7 rem (70 000 Mikrojoule/kg). Eine ärztliche Untersuchung wurde eingeleitet. Die erforderlichen Maßnahmen für technische Verbesserungen beziehungsweise Absicherungen wurden mit der Herstellerfirma des Gerätes besprochen.

Bei Schweißnahtprüfungen mittels Röntgenstrahlen verwechselte ein Beschäftigter die Schaltkästen zweier Röntgengeräte und erhielt dadurch eine Strahlenexposition durch einen Strahler, der in seiner Nähe stand, und den er außer Betrieb glaubte. Da er zufälligerweise nicht der Nutzstrahlung dieses Gerätes ausgesetzt war, erfolgte keine nennenswerte Strahlenexposition. Die erforderlichen technischen Sicherungsmaßnahmen (Einbau von Warnleuchten) wurden umgehend eingeleitet.

Im Kernkraftwerk Gundremmingen gelangten am 13. Januar 1977 als Folge eines Störfalls 450 m^3 Wasser mit einer Aktivitätskonzentration von etwa 0,04 Curie/m^3 in den Sumpf des Reaktorgebäudes. Dieses Sumpfwasser wurde der Abwasseraufbereitung zugeführt, dort aufbereitet und später unter Einhaltung der genehmigten Grenzwerte in die Donau abgeleitet. Die im Reaktorgebäude entstandene Kontamination wurde anschließend durch Dekontamination beseitigt. Eine gesundheitliche Gefährdung von Personen trat nicht auf.

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen enthält Tabelle 21. Zwischenfälle, die durch den Umgang mit ionisierenden Strahlen verursacht werden, sind auf Grund der strengen Auflagen der Strahlenschutzverordnung weiterhin sehr selten.

6 Kernwaffenversuche

Nach den vorliegenden Meldungen wurden 1977 insgesamt 24 Kernwaffenversuche durchgeführt, davon 23 unterirdisch. Der Versuch der Volksrepublik China am 17. September 1977 in der Atmosphäre hatte nur geringe Auswirkungen auf den allgemeinen Pegel der Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland. Kurzlebige Radionuklide konnten vereinzelt in Nahrung nachgewiesen werden. Langlebige Aerosole, wie Strontium 90 und Cäsium 137, haben im Niederschlag gegenüber 1976 unter anderem auf Grund der Ende 1976 von der Volksrepublik China in der Atmosphäre durchgeführten zwei Kernwaffenversuche leicht zugenommen; die Werte in Nahrung blieben annähernd gleich.

Die durchschnittliche Zufuhr für die Bevölkerung aus allen Kernwaffenversuchen an Strontium-90 beträgt etwa 7 Pikocurie (0,26 Becquerel) pro Tag und Person, an Cäsium-137 etwa 14 Pikocurie (0,52 Becquerel) pro Tag und Person.

Langlebige Radionuklide aus dem Fall-out, die durch die Nahrung in den menschlichen Körper gelangen, sind dort noch immer nachweisbar. Aus den Messungen des Cäsium-137-Gehaltes im menschlichen Körper ist eine Ganzkörperdosis für das Jahr 1977 berechnet worden, die ebenfalls unter 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) liegt.

Die Untersuchung von Strontium 90 in menschlichen Gewebeproben wurde wieder aufgenommen. Der Strontium-90-Gehalt des menschlichen Knochens bewegt sich 1977 im süddeutschen Raum je nach Alter zwischen 0,23 und 3,6 Pikocurie (0,009 und 0,13 Becquerel) pro Gramm Calcium bzw. 206 und 3704 Pikocurie (7,6 und 137 Becquerel) pro Gesamtkörper. Dabei liegt das Maximum 1977 bei den derzeit Zwanzigjährigen. Die Knochendosis beträgt bei dieser Personengruppe 8,8 Millirem (88 Mikrojoule/kg).

Der Beitrag der am Boden aus dem Kernwaffen-Fallout abgelagerten Radionuklide zur Ganzkörperdosis ist mit kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr in Rechnung zu setzen. Die genetisch signifikante Dosis der Bevölkerung ist kleiner als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrages über das Verbot von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser" im Jahre 1963 fast ständig zurückgegangen. Zur Zeit beträgt die Aktivitätszufuhr über Nahrung etwa 10 bis 30 Prozent der Maximalwert der Jahre 1963 bis 1965 (Abbildung 2).

III. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Strahlenexposition der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Strahlenquellen (Tabelle 1) hat sich im Vergleich zum Jahr 1976 nicht wesentlich geändert.

Der Hauptanteil der natürlichen Strahlenexposition wird durch die Umgebungsstrahlung und durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper bedingt. Die in den letzten Jahren durchgeführten Messungen haben ergeben, daß besonders durch den verschieden hohen Gehalt an radioaktiven Stoffen im Boden in den einzelnen Teilen der Bundesrepublik Deutschland erhebliche Unterschiede der natürlichen Strahlenexposition bestehen. Bei Langstreckenflügen in großen Höhen sowie durch die Verwendung von Baustoffen mit erhöhtem Anteil an radioaktiven Stoffen werden Bevölkerungsgruppen ebenfalls einer erhöhten Strahlenexposition aus natürlichen Strahlenquellen ausgesetzt. Bisher gibt es jedoch keine epidemiologisch gesicherten Hinweise, daß die unterschiedliche Höhe der natürlichen Strahlenexposition Unterschiede im Gesundheitszustand der Bevölkerung zur Folge hat.

Die künstliche Strahlenexposition der Bevölkerung ist im wesentlichen durch die Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin bedingt. Hierbei führt die Röntgendiagnostik zu den höchsten Werten. Nach Ermittlungen des Bundesgesundheitsamtes ist mit einem weiteren Anstieg der Untersuchungsfrequenzen insbesondere durch Zunahme neuer Diagnoseverfahren zu rechnen. In der Strahlentherapie ist dagegen ein Rückgang der Frequenzen zu verzeichnen. Dies ist durch eine deutliche Begrenzung der Bestrahlungsindikation nicht bösartiger Erkrankungen bedingt. Jedoch ist in Zukunft mit einer Zunahme der Behandlungsfrequenzen bösartiger Neubildungen zu rechnen.

Ermittlungen der Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik zeigen, daß erhebliche Unterschiede in der Strahlenexposition der Patienten je nach der angewandten Untersuchungsmethode bestehen. Es bieten sich deshalb durch die Einführung dosissparender Bildwiedergabesysteme wie Röntgenbildverstärker, durch Beschränkung des bestrahlten Feldes auf die diagnostisch wichtigen Körpergebiete, durch die Vermeidung von Mehrfachuntersuchungen Möglichkeiten zur Dosisreduktion an.

Auch in der Nuklearmedizin ist eine deutliche Zunahme der Untersuchungen mit radioaktiven Stoffen festzustellen. In der nuklearmedizinischen Diagnostik können durch Verwendung kurzlebiger Radionuklide und die vermehrte Einführung geeigneter Laboratoriumsmethoden (in-vitro-Untersuchungen) Dosisminderungen erzielt werden, ohne daß dadurch ein Verlust an Information für die Diagnose eintritt. Die Verwendung kurzlebiger Radionuklide bedingt zudem eine geringere Belastung der Umwelt.

Die Erfassung und Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen ist in den letzten Jahren laufend verbessert worden. Die „Richtlinie zur Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft von Kernkraftwerken mit leichtwassergekühltem Reaktor" führte zu einer Vereinheitlichung der meßtechnischen Anforderungen bei der Überwachung der radioaktiven Emissionen. Mit den von der Strahlenschutzkommission empfohlenen „Allgemeinen Berechnungsgrundlagen" ist eine Vereinheitlichung der Berichterstattung über die Strahlenexposition durch die Jahresabgaben radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen erreicht worden. Durch die Abgabe radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen wird die Strahlenexposition der Bevölkerung nur geringfügig erhöht. Die berechneten Höchstwerte der Ganzkörperdosis an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen sind wesentlich kleiner als die Schwankungen der natürlichen Strahlenexposition im Freien und in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland. Die tatsächliche Strahlenexposition von Einzelpersonen dürfte selbst an den ungünstigsten Einwirkungsstellen zumeist im Bereich von Bruchteilen eines Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr bis zu einigen Millirem (einigen 10 Mikrojoule/kg) pro Jahr gelegen haben. Die Strahlenexposition an den ungünstigsten Einwirkungsstellen in der Umgebung von Kohlekraftwerken beträgt nach verschiedenen Untersuchungen ein Mehrfaches der Strahlenexposition durch Kernkraftwerke.

Die Summierung aller Beiträge kerntechnischer Anlagen zur Strahlenexposition der Bevölkerung führte auch 1977 in der Bundesrepublik Deutschland zu einer genetisch signifikanten Strahlenexposition von deutlich weniger als 1 Millirem (10 Mikrojoule/kg) pro Jahr.

Die Anwendung von ionisierenden Strahlen und radioaktiven Stoffen zu technischen Zwecken und in der Forschung nimmt weiter zu. Auch Geräte, die potentielle Strahlenquellen sind, wie Fernsehgeräte, Uhren mit Leuchtzifferblättern, selbstleuchtende

Kompasse, Rauchmelder und antistatische Vorrichtungen, sind in Gebrauch. Die Strahlenexposition der Einzelpersonen und der Gesamtbevölkerung durch technische Geräte wird durch die Bestimmungen der Röntgenverordnung und der Strahlenschutzverordnung auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt.

Die mittlere Strahlenexposition durch äußere Strahleneinwirkung bei der beruflichen Tätigkeit wird für 1977 auf eine Jahresdosis von 80 Millirem (800 Mikrojoule/kg) pro Person geschätzt. Der angegebene Dosismittelwert wurde aus den Personendosismeßdaten eines Teils der beruflich strahlenexponierten Personen durch Hochrechnung auf die Gesamtzahl der mit Personendosimetern überwachten Personen gewonnen. Eine nach dem gleichen statistischen Verfahren durchgeführte Abschätzung der beruflichen Strahlenexposition für 1976 ergab ebenfalls eine mittlere Jahresdosis von rd. 80 Millirem (800 Mikrojoule/kg).

Die Auswertung der Inkorporationsüberwachung von Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen umgehen, hat ergeben, daß vor allem in der Leuchtfarbenindustrie und bei der nuklearmedizinischen Anwendung von radioaktiven Stoffen Inkorporationen vorkommen. Überschreitungen der Jahresaktivitätszufuhr bzw. der zugelassenen Dosisgrenzwerte waren jedoch nur selten zu verzeichnen. Der Beitrag zur genetisch signifikanten Dosis der Bevölkerung ist gering.

Im Jahr 1977 wurden 24 Kernwaffenversuche durchgeführt; einer davon wurde in der Atmosphäre über dem Versuchsgelände der Volksrepublik China ausgelöst. Im Laufe des Jahres gelangten in Abhängigkeit vom Wetter Spaltprodukte auch in die Bundesrepublik Deutschland und führten zu nachweisbaren Gehalten von kurzlebigen Radionukliden in der Luft, im Niederschlag und in einzelnen Lebensmitteln.

In der Atmosphäre und in Lebensmitteln nachweisbare langlebige radioaktive Stoffe stammen nach wie vor aus den Kernwaffenversuchen der Sechzigerjahre.

Die Überwachung der Lebensmittel auf radioaktive Stoffe hat ergeben, daß der Gehalt an Strontium 90 und Cäsium 137 im Jahre 1977 eine gleichbleibende bis fallende Tendenz zeigte. Zur Strahlenexposition der Bevölkerung haben diese Radionuklide nur unwesentlich beigetragen.

IV. Maßnahmen

Ziel des Strahlenschutzes ist, die Strahlenexposition so zu begrenzen, daß keine schädlichen Strahlenwirkungen auftreten, bzw. das Risiko auf ein im Vergleich mit anderen Risiken vertretbares Maß beschränkt ist, wenn der Nutzen der Strahlenanwendung gerechtfertigt ist.

Dabei wird von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

— ionisierende Strahlen sind nur dann anzuwenden, wenn dies durch einen Vorteil gerechtfertigt ist,

— alle Strahlenexpositionen sind so gering wie möglich zu halten,

— die Strahlenexposition darf die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Auch unterhalb dieser Grenzwerte soll sie so gering wie möglich gehalten werden.

Voraussetzung für alle Strahlenschutzmaßnahmen ist die möglichst genaue Kenntnis strahlenbiologischer Wirkungen, insbesondere im Bereich kleiner Dosiswerte, da diese für den Strahlenschutz der Bevölkerung und beruflich strahlenexponierter Personen von ausschlaggebender Bedeutung sind. Die Untersuchungen von Wirkungen in diesen Dosisbereichen und entsprechende epidemiologische Studien müssen noch intensiviert werden. Dies entspricht auch den Empfehlungen internationaler Organisationen, z. B. des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR). Schwerpunkte der strahlenbiologischen Forschung der kommenden Jahre sollen nach diesen Empfehlungen sein:

— Wirkungen bei kleinen Dosiswerten

— genetische Auswirkungen

— Zusammenwirken von Strahlung und anderen Umweltnoxen

— Aufnahme, Verteilung, Anreicherung und Ausscheidung radioaktiver Stoffe

— Wirkung auf das Leben im Mutterleib.

Von besonderem Interesse ist die mögliche Induktion bösartiger Neubildungen als Folge einer Strahlenexposition. Zur Ermittlung möglicher nachteiliger Wirkungen sind Angaben über Häufigkeit spontan auftretender bösartiger Neubildungen notwendig. Aus diesen Gründen wird ein Krebsregister für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland angestrebt.

Die Erstellung eines Katasters für die Bundesrepublik Deutschland über abgegebene Aktivitäten der für die Strahlenexposition relevanten Radionuklide, das alle wichtigen Emittenten in Medizin, Forschung und Industrie erfaßt, ist weiterhin eine dringliche Aufgabe. Ferner prüft die Bundesregierung im Benehmen mit den Bundesländern, ob die Einrichtung eines Fernüberwachungssystems für Kernkraftwerke, ähnlich wie es in Bayern bereits betrieben wird, für das gesamte Bundesgebiet zweckmäßig ist. Der Grundsatz der Abwägung von Nutzen und Risiko einer Strahlenanwendung ist auch bei medizinischen Anwendungen zu beachten. Die für die Röntgendiagnostik notwendige Strahlenexposition muß grundsätzlich auf das jeweils erreichbare Mindestmaß beschränkt sein. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Indikation zur Untersuchung als auch der Begrenzung der Strahlenexposition durch den Einsatz dosissparender Verfahren. Durch eine regelmäßige Wartung der Aufnahmeapparatur soll gewährleistet werden, daß die erforderliche Information mit der geringstmöglichen Dosis erreicht wird. Bei Vorsorgeuntersuchungen ist zu überprüfen, ob der Nutzen des jeweiligen Verfahrens mit dem Risiko, das mit der Untersuchung verbunden ist, in einem zu verantwortenden Verhältnis steht.

In der Nuklearmedizin sind aus Gründen des Strahlenschutzes des Patienten und der Umwelt vermehrt kurzlebige Radionuklide einzusetzen. Außerdem sollten bevorzugt Methoden der Laboratoriumsdiagnostik ohne Strahlenbelastung des Patienten Anwendung finden. Die Einführung dieser Maßnahmen einschließlich eines geeigneten Verteilersystems für diese kurzlebigen Radionuklide sollte beschleunigt werden.

In der Technik und Forschung werden in steigendem Maße ionisierende Strahlen und radioaktive Stoffe angewendet. Auch hier ist eine strenge Überwachung der anzuwendenden Verfahren erforderlich, insbesondere um die Strahlenexposition der Bevölkerung auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Im Rahmen der Erfassung und Bilanzierung der Abgabe radioaktiver Stoffe in Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen sind nach wie vor ergänzende Untersuchungen erforderlich. Die sinngemäße Anwendung der Richtlinie zur Kontrolle der Eigenüberwachung der Emission radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken auf andere kerntechnische Anlagen ist anzustreben. Auch bei den übrigen Emittenten sind die Bilanzierung der Abgabe radioaktiver Stoffe zu verbessern und die Anforderungen an die Messungen der Emissionsüberwachung zu vereinheitlichen.

Die am 1. April 1977 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung enthält eine Vielzahl von Bestimmungen, die den Zweck haben, die Strahlenexposition der Beschäftigten und der Bevölkerung auf ein tragbares Mindestmaß zu beschränken. Für die einheitliche Durchführung der Verordnung in den einzelnen Bundesländern ist zu sorgen.

Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch kerntechnische Anlagen wird auch im nächsten Jahrzehnt in der Bundesrepublik Deutschland deutlich unter ein Prozent der natürlichen Strahlenexposition bleiben, auch wenn anzunehmen ist, daß durch den Ausbau der Nutzung der Kernenergie in den Nachbarstaaten mit einer geringen Zunahme der Strahlenexposition insgesamt zu rechnen ist.

Der Gesamtbetrag der künstlichen Strahlenexposition der Bevölkerung wird sich jedoch nur dann deutlich verringern lassen, wenn es gelingt, den hohen Beitrag der durch die medizinischen Maßnahmen bedingten Exposition herabzusetzen.

V. Die Wirkung kleiner Strahlendosen

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wirkungen kleiner Strahlendosen sind ausführlich in dem Bericht [1]) des Wissenschaftlichen Komitees der Vereinten Nationen über die Wirkungen von Atomstrahlen (UNSCEAR) und dem BEIR [2])-Report der Nationalen Akademie der Wissenschaften der USA dargestellt. Sie sind auch in den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) voll berücksichtigt [3]).

Die Strahlenbiologie teilt die biologischen Strahlenwirkungen in zwei Gruppen ein. Sie bezeichnet Strahlenwirkungen, die um so wahrscheinlicher auftreten, je höher die empfangene Dosis ist, als „stochastische" (zufallsabhängige) Strahlenwirkungen. Die Schwere stochastischer Strahlenschäden ist nicht von der Höhe der empfangenen Dosis abhängig. Ferner gibt es bei diesen Strahlenwirkungen keine Schwellendosis, bei deren Unterschreitung stochastische Strahlenschäden nicht auftreten.

Die zweite Gruppe der biologischen Strahlenwirkungen sind die „nichtstochastischen" Wirkungen. Die Schwere nichtstochastischer Strahlenschäden ist um so größer, je höher die empfangene Dosis ist. Zu dieser Gruppe von Strahlenschäden gehören beispielsweise Hautschäden und Trübungen der Augenlinse. Hier kann ein Schwellenwert bestehen. Die Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung sind so niedrig festgelegt, daß bei Einhaltung dieser Grenzwerte beruflich strahlenexponierte Personen während ihres gesamten Lebens keine solchen Strahlenschäden erleiden.

Zu den stochastischen Strahlenwirkungen gehören Schäden am Erbgut und strahlenbedingte Leukämie- und Krebserkrankungen. Stochastische Strahlenwirkungen können als Spätschäden etwa um 10 bis 30 Jahre nach der Strahlenexposition in den exponierten Personengruppen in statistischer Verteilung auftreten.

Eine strahlenbiologische Abschätzung der stochastischen Strahlenwirkung der natürlichen Strahlenexposition ergibt für die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, daß etwa 0,6 Prozent der durch Krebs oder Leukämie verursachten Todesfälle und etwa 0,4 Prozent der vererbbaren Schäden durch die natürliche Strahlenexposition verursacht sind. Da die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch die friedliche Nutzung der Kernenergie deutlich unter einem Prozent der natürlichen Strahlenexposition liegt, ergibt sich, daß das Strahlenrisiko der Bevölkerung durch die friedliche Nutzung der Kernenergie weniger als ein Hunderttausendstel des derzeitigen Krebsrisikos beträgt. Dieses Strahlenrisiko der Bevölkerung durch die Kernenergie ist damit sehr viel kleiner als die statistischen Schwankungen des allgemeinen Krebsrisikos und so klein, daß es nicht nachgewiesen werden kann.

Die Bundesregierung hat zur Frage des Risikos kleiner Strahlendosen für einzelne und die Gesamtbevölkerung bereits im Jahre 1975 in ihrer Antwort auf eine Große Anfrage zur friedlichen Nutzung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland ausführlich Stellung genommen (BT-Drucksache 7/3871 vom 16. Juli 1975, Abschnitt III.1).

---

[1]) Eine deutsche Übersetzung (ohne die Anlagen) des im Jahre 1977 erschienenen Berichts kann vom Bundesminister des Innern – Referat RS II 2 – bezogen werden.

[2]) The Effects on Populations on Exposure to Low Levels of Ionizing Radiations. Report of the Committee on the Biological Effects on Ionizing Radiations. Washington 1979.

[3]) Deutsche Ausgaben einiger dieser Empfehlungen hat das Bundesgesundheitsamt herausgegeben. Sie sind im Gustav Fischer Verlag Stuttgart erschienen.

Anlage

Erläuterung der benutzten Fachausdrücke

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Größe, die die Zahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes angibt
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und Bewertungsfaktor. Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	Neue Einheit der Aktivität 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie = 27 Pikocurie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung von radioaktiven Gasen in der Atmosphäre (wörtlich: durch Untertauchen in eine Wolke)
Curie	Alte Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Curie (Ci) liegt vor, wenn 37 Mrd. Atomkerne je Sekunde zerfallen
Dekontamination	Beseitigung von radioaktiven Verunreinigungen
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Energiedosis	Absorbierte Strahlungsenergie je Masseneinheit
Fall-out	Radioaktiver Niederschlag aus kleinsten Teilchen in der Atmosphäre, die bei Kernwaffenversuchen enstanden sind
Gammastrahlung	Sehr kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die z. B. beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandt wird
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Gasen in der Atmosphäre (wörtlich: durch Untertauchen in eine Wolke)
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer Bestrahlung des ganzen Körpers
Genetisch signifikante Dosis	Summe der mit dem genetischen Bedeutungsfaktor multiplizierten Keimdrüsendosen, geteilt durch die Gesamtzahl der von der Bestrahlung betroffenen Personen. Die genetisch signifikante Dosis ermöglicht eine Beurteilung der Wirkung auf die Erbsubstanz
Gray	Neue Einheit der Energiedosis 1 Gray (Gy) = 100 Rad
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung von Gasen speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische oder Teilchenstrahlungen, die die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Abart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Joule/kg	Neue Einheit der Energiedosis bzw. der Äquivalentdosis 1 Joule/kg = 100 Rad 1 Joule/kg = 100 rem
Keimdrüsendosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über die Keimdrüsen
Kontamination	Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum

Mikrowellenklystron	Elektronenröhre zur Erzeugung von elektromagnetischen Wellen sehr hoher Frequenz (Mikrowellen)
Millirem	Alte Einheit der Äquivalentdosis 1 Millirem (mrem) = 0,001 Rem (rem)
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl und Massenzahl charakterisierte Atomart
Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosisleistung	Äquivalentdosis an einem bestimmten Ort während einer bestimmten Zeitdauer, geteilt durch die Zeitdauer
Rad	Alte Einheit der Energiedosis 1 Rad (rad) = 100 erg/g
radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft mancher chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung dauernd Strahlung auszusenden
Radiographiegerät	Gerät zur zerstörungsfreien Durchstrahlungsprüfung von Materialien mittels Radionuklide
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Rem	Alte Einheit der Äquivalentdosis 1 Rem (rem) = 1000 Millirem (mrem)
Röntgen	Alte Einheit der Ionendosis 1 Röntgen (R) = 258 µC/kg = 1 000 000 Mikroröntgen (µR)
Stochastisch	Zufallsabhängig
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlichen radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Thyratron	Durch ein Gitter steuerbarer Quecksilberdampfgleichrichter
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet. Trinkwasser enthält natürlicherweise 6 — 24 Pikocurie durch die kosmische Strahlung erzeugtes Tritium pro Liter.

Abbildung 1

Häufigkeitsverteilung der terrestrischen Komponente der natürlichen Strahlenexposition für die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland

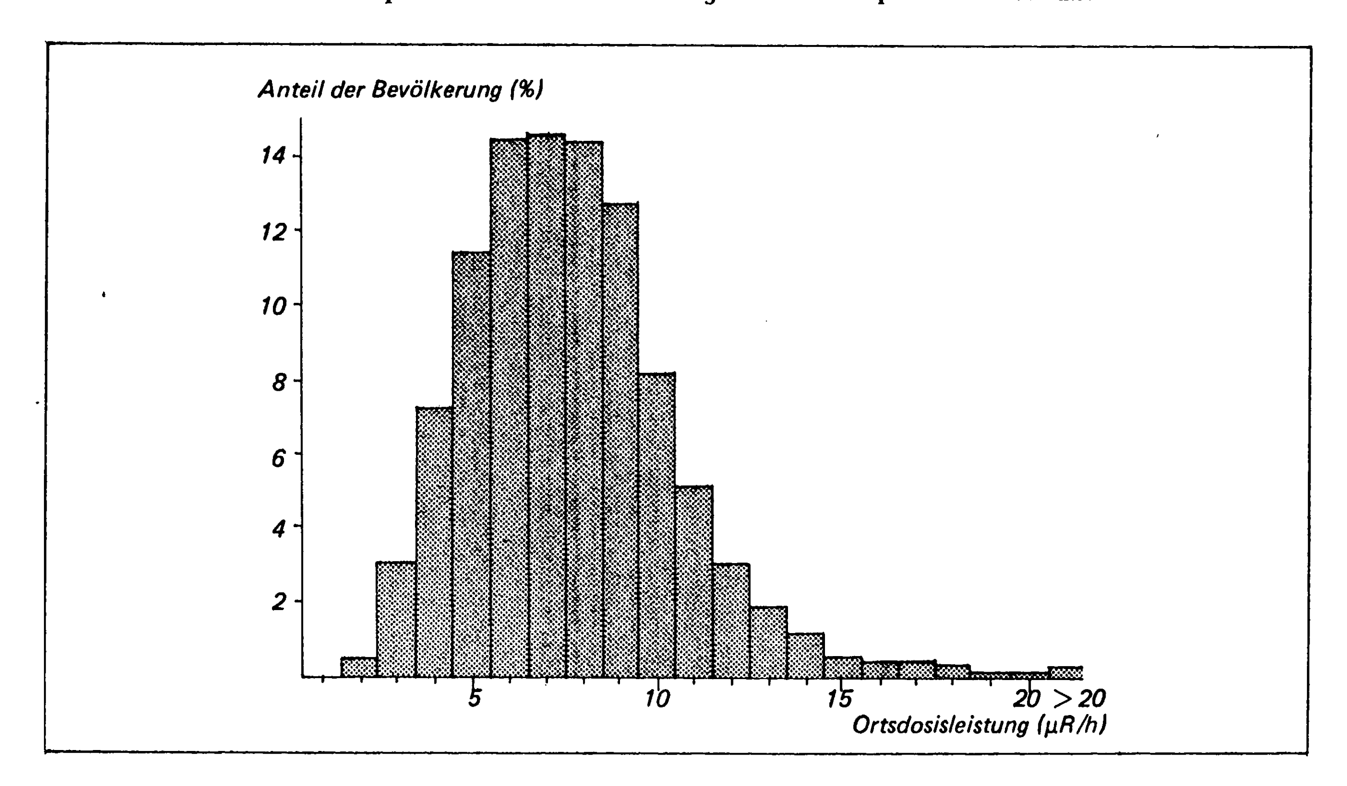


Abbildung 2a

Zeitlicher Verlauf des Sr-90-fall-out und der Sr-90-Aktivitätskonzentration in Gesamtnahrung

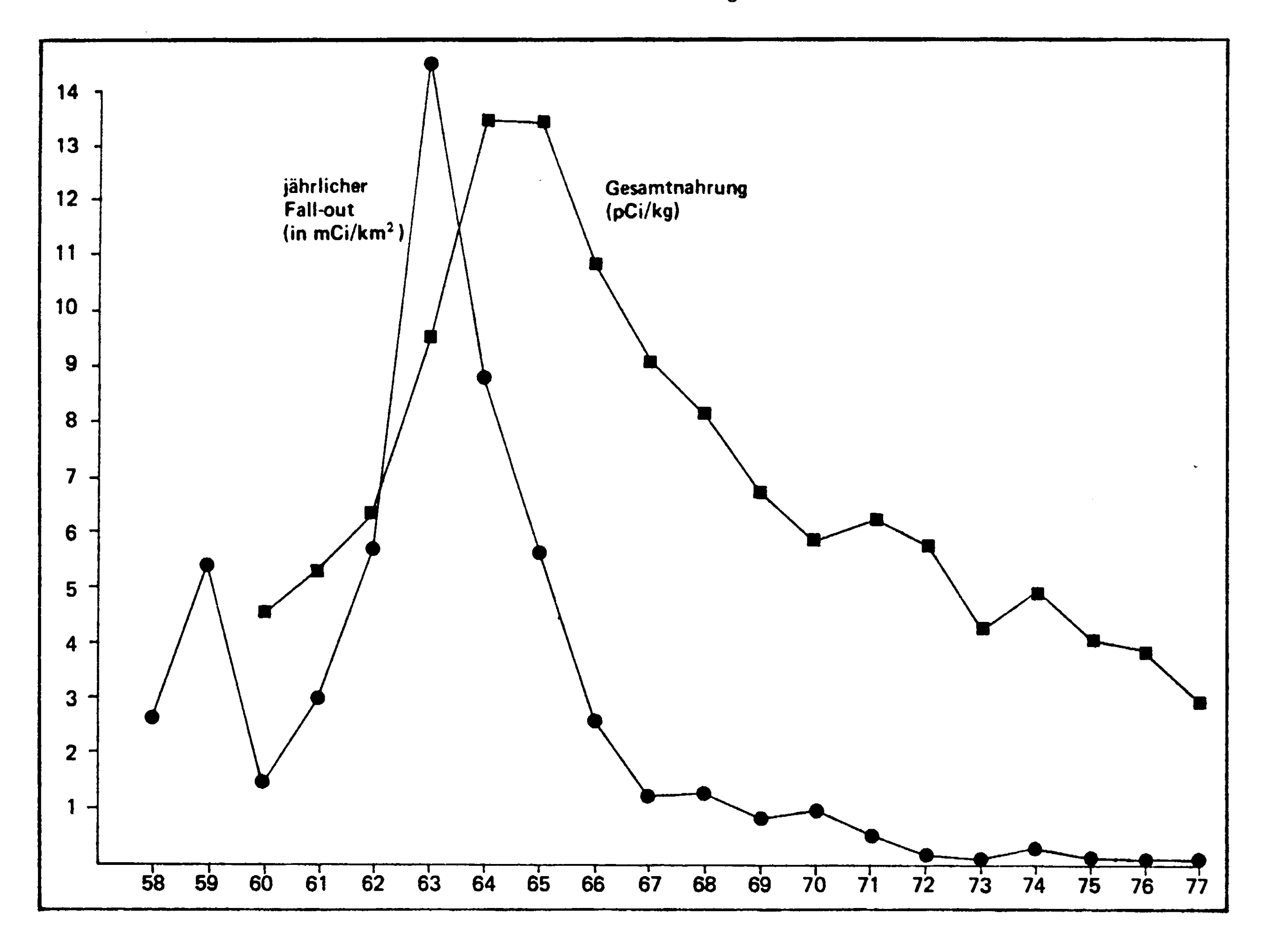


Abbildung 2b

Zeitlicher Verlauf des Cs-137-fall-out und der Cs-137-Aktivitätskonzentration in Gesamtnahrung

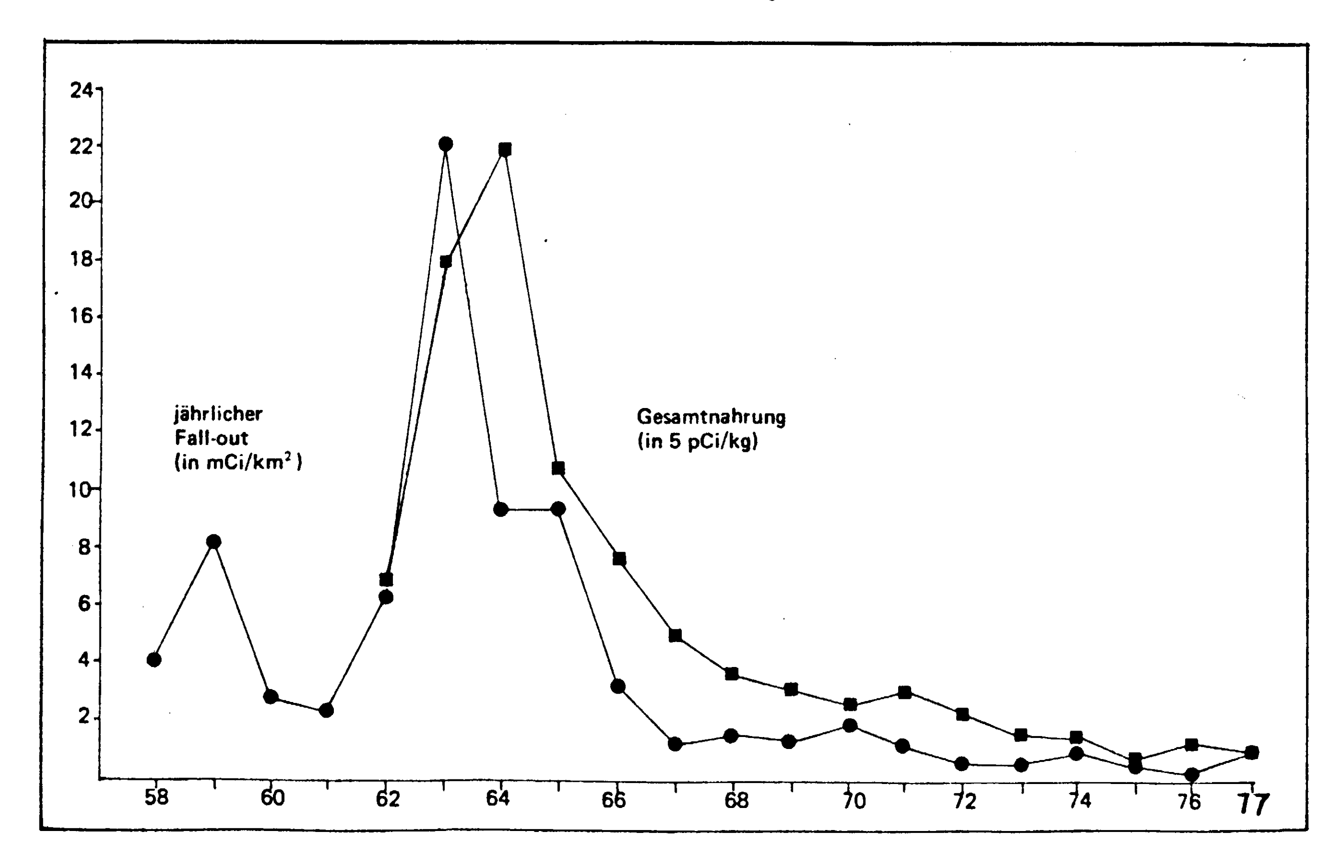


Tabelle 1

Genetisch signifikante Strahlenexposition des Menschen in der Bundesrepublik Deutschland 1977

1 Natürliche Strahlenexposition		ca. 110 mrem/a
1.1 durch kosmische Strahlung in Meereshöhe	ca. 30 mrem/a	
1.2 durch terrestrische Strahlung von außen	ca. 50 mrem/a	
bei Aufenthalt im Freien	ca. 43 mrem/a	
bei dauerndem Aufenthalt in Häusern	ca. 57 mrem/a	
1.3 durch inkorporierte radioaktive Stoffe	ca. 30 mrem/a	
2 Künstliche Strahlenexposition		ca. 60 mrem/a
2.1 durch kerntechnische Anlagen	< 1 mrema/a *)	
2.2 Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Forschung und Technik	< 2 mrem/a	
2.2.1 durch technische Strahlenquellen	< 1 mrem/a	
2.2.2 durch Industrieerzeugnisse	< 1 mrem/a	
2.2.3 durch Störstrahler	< 1 mrem/a	
2.3 beruflich strahlenexponierte Personen (Beitrag zur mittleren Strahlenexposition des Menschen)	< 1 mrem/a	
2.4 durch Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin	ca. 50 mrem/a	
2.4.1 Röntgendiagnostik	ca. 50 mrem/a	
2.4.2 Strahlentherapie	< 1 mrem/a	
2.4.3 Nuklearmedizin	ca. 2 mrem/a	
2.5 Strahlenunfälle und besondere Vorkommnisse	0	
2.6 durch Fall-out von Kernwaffenversuchen	< 1 mrem/a	
2.6.1 von außen im Freien unabgeschirmt	< 1 mrem/a	
2.6.2 durch inkorporierte radioaktive Stoffe	< 1 mrem/a	

*) Das Zeichen < bedeutet „kleiner als".

Gegenüber dem Jahr 1976 haben sich keine Änderungen ergeben.

Tabelle 2

Natürlich radioaktive Stoffe (nCi/kg) in verschiedenen Gesteinen und im Boden
(nach NCRP Report No. 45)

	Kalium 40	Radium 226	Thorium 232
Eruptivgestein:			
Basalt (Mittelwert)	7	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Granit (Mittelwert)	> 30	1	3
Sedimentgestein:			
Schiefer	22	1	1,3
Sandsteine:			
reiner Quarz	> 8	< 0,3	< 0,2
verunreinigter Quarz	≈ 10	≈ 1	≈ 0,3 – 0,7
Kaolin	16 – 24	≈ 0,3 – 0,7	≈ 2
Strandsand	< 8	1	0,7
Kalkstein	2	0,7	0,2
Boden	12	0,6	1

Tabelle 3

Natürlich radioaktive Stoffe (nCi/kg) in verschiedenen Baustoffen
(nach BMI-Bericht 1978)

	Kalium 40	Radium 226	Thorium 232
Natursteine:			
Granit	17 – 96	0,8 – 13	1,3 – 5,2
Schiefer	14 – 31	0,8 – 1,8	1,1 – 1,8
Kalkstein, Marmor	< 1 – 6	< 0,2 – 0,7	< 0,1 – 0,6
Sandstein, Quarzit	< 1 – 31	< 0,5 – 1,7	< 0,5 – 1,8
Ziegel, herkömmliche Art:	4 – 69	0,5 – 3,1	< 0,5 – 5
Betonsteine:			
Bims-Zuschlag	13 – 53	0,7 – 4,8	1,0 – 6,8
Ziegelsplitt-Zuschlag	11 – 15	0,8 – 1,9	0,7 – 3,0
Schlacke-Zuschlag	8 – 25	0,6 – 20	0,6 – 5,6
Kalksandstein, Gasbeton	< 1 – 21	< 0,2 – 2,0	< 0,2 – 1,5

Tabelle 4

Durch terrestrische Strahlenexposition von außen bedingte Keimdrüsendosis in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland

(mrem/Jahr)

Land	Werte im Freien			Werte in Wohnungen *)		
	Mittel	Maximal	Minimal	Mittel	Maximal	Minimal
Baden-Württemberg	45	165	11	57	134	11
Bayern	50	291	14	61	243	14
Berlin	42	133	22	50	129	17
Bremen	30	45	20	38	65	18
Hamburg	40	86	22	40	77	21
Hessen	43	108	7	65	144	24
Niedersachsen	34	80	7	47	122	12
Nordrhein-Westfalen	42	118	4	55	154	14
Rheinland-Pfalz	49	90	22	74	180	23
Saarland	57	114	22	87	158	28
Schleswig-Holstein	37	57	13	43	124	19
Gesamt	43	291	4	57	243	11

*) Wohnungsmittelwerte aus allen Räumen einer Wohnung

Tabelle 5

Strahlenexposition des Menschen durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe in mrem/Jahr

(nach UNSCEAR 1977)

	Gonaden	Knochen		Lunge
		Endost/Periost	rotes Knochenmark	
Tritium	0,001	0,001	0,001	0,001
Kohlenstoff 14	0,5	2,0	2,2	0,6
Kalium 40	12	15	27	17
Polonium 210 Nichtraucher	12	60	14	6
Polonium 210 Raucher	16	80	18	18
Radium 226 (einschl. 1/3 kurzlebige Folgeprodukte)	0,6	14	1,8	0,6
Radium 228 (einschl. Folgeprodukte)	1,2	22	3,6	1,2
Gesamt	26 – 30	113 – 133	48 – 53	25 – 37

Tabelle 6

Übersicht über die Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland
(Stand: 31. Dezember 1977)

Kernkraftwerk	Typ *)	Jahr der Inbetriebnahme	Elektrische Brutto-Leistung (MW)	Bruttostromerzeugung 1977 (MWa)
Versuchsatomkraftwerk Kahl	SWR	1961	16	12
Mehrzweckforschungsreaktor Karlsruhe	D_2O-DWR	1965	58	38
Kernkraftwerk Gundremmingen	SWR	1966	252	9
Versuchskernkraftwerk AVR Jülich	HTR	1968	15	8
Kernkraftwerk Lingen	SWR	1968	268	3
Kernkraftwerk Obrigheim	DWR	1969	345	259
Kernkraftwerk Stade	DWR	1972	662	620
Kernkraftwerk Würgassen	SWR	1972	670	433
Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe	NaR	1973	21	0
Kernkraftwerk Biblis A	DWR	1974	1204	750
Kernkraftwerk Biblis B	DWR	1976	1300	978
Kernkraftwerk Neckarwestheim	DWR	1976	855	602
Kernkraftwerk Brunsbüttel	SWR	1976	806	396
Kernkraftwerk Isar	SWR	1977	907	9

*) SWR – Leichtwasser-Siedewasserreaktor
DWR – Leichtwasser-Druckwasserreaktor
D_2O-DWR – Schwerwasser-Druckwasserreaktor
HTR – gasgekühlter Hochtemperaturreaktor
NaR – natriumgekühlter Reaktor

Tabelle 7

Jahresabgabe radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken[1][2] im Jahr 1977 in Curie/Jahr (Jahresabgabe im Jahr 1976 in Klammern; das Kernkraftwerk Isar war 1976 noch nicht in Betrieb)

Kernkraftwerk	Abluft						Abwasser	
	Edelgase	Aerosole		Jod 131	C 14	Tritium	Spalt- und Aktivierungs-produkte (ohne Tritium)	Tritium
		kurz-lebige	lang-lebige[3]					
Kahl	130	0,006	< 0,0001	0,004	0,12	ca. 2	0,021	19
	(300)	(0,014)	(< 0,001)	(0,003)	(0,1)	(ca. 2)	(0,009)	(27)
Gundremmingen	< 453	0,008	0,004	0,005	1,0	6,9	1,54	22
	(5 300)	(0,006)	(0,005)	(0,35)	(1,5)	(27)	(1,3)	(53)
Lingen	< 133	< 0,055	0,0005	< 0,0014	0,2	5,3	0,010	2,5
	(6 400)	(3,9)	(0,0005)	(0,050)	(2,0)	(6,0)	(0,031)	(15)
Obrigheim	370	0,0002	0,007	0,0006	3,0	23	0,20	116
	(340)	(0,0005)	(0,008)	(0,0002)	(1,5)	(62)	(1,2)	(144)
Stade	3 320	< 1,7	0,009	0,026	2,1[4]	16	0,20	142
	(10 500)	(< 1,7)	(0,007)	(0,020)	(3,0)	(21)	(0,24)	(45)
Würgassen	785	0,022	0,015	0,028	6,2	24	1,57	42
	(480)	(7,6)	(0,017)	(0,046)	(4,0)	(n.b.)	(1,07)	(25)
Biblis A	106	0,008	0,0015	0,0005	4,8	16	0,13	180
	(1 150)	(0,076)	(0,028)	(0,013)	(3,0)	(9,5)	(0,20)	(320)
Biblis B	4 100	0,043	0,004	0,0034	4,9	18	0,034	155
	(300)	(0,037)	(0,002)	(0,010)	(0,5)	(n.b.)	(0,26)	(22)
Neckarwestheim	1 880	0,0001	0,012	0,046	4,0	25	0,16	83
	(520)	(n.b.)	(0,0005)	(0,002)	(1,0)	(2,0)	(0,24)	(5)
Brunsbüttel	3 130	n.b.	0,072	0,015	4,3	4,8	1,15[5]	9
	(970)	(n.b.)	(0,007)	(0,00002)	(1,0)	(0,2)	(0,63)	(2)
Isar	23	n.b.	< 0,0001	– –	n.b.	– –	0,038[6]	0,04

1) Die Jahresabgaben von MZFR, KNK und AVR sind in den Abgaberaten der Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich enthalten (Tabelle 9)
2) Werte zum Teil gerundet
3) ohne J 131
4) nur $^{14}CO_2$, geschätzte Gesamtabgabe: 6 Ci/a
n.b. nicht bilanziert
5) zusätzlich ca. 40 mCi P 32
6) zusätzlich ca. 30 mCi P 32

Tabelle 8

Jahresabgaben radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken seit ihrer Inbetriebnahme [1])

(Curie/Jahr)

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosole (HWZ<8 d)	J-131	Spalt- und Aktivierungsprodukte	H-3
Kahl					
1962	19			0,003	
1963	74			0,001	
1964	510			0,002	
1965	360			0,002	
1966	860			0,003	
1967	3 900			0,002	
1968	4 700		0,001	0,003	
1969	1 800		0,007	0,006	
1970	2 900	< 5 E-5	0,005	0,07	1,4
1971	2 100	< 5 E-5	0,002	0,059	1,6
1972	–	–	–	0,032	1,2
1973	480	< 5 E-5	0,002	0,010	1,7
1974	990	ca. 0,001	0,003	0,006	7,9
1975	380	n. b.	0,001	0,007	7,9
1976	300	< 0,001	0,003	0,009	27
1977	130	< 0,0001	0,004	0,021	19
Gundremmingen					
1967	15 900	0,002	0,033	2,8	26
1968	3 300	0,003	0,037	2,1	24
1969	11 400	0,008	0,36	1,6	20
1970	7 300	0,074	0,20	1,5	31
1971	6 500	0,049	0,34	1,9	37
1972	11 000	0,015	0,19	2,0	78
1973	23 700	0,018	1,96	1,6	150
1974	4 100	0,002	0,12	1,0	220
1975	7 400	0,008	0,25	1,0	120
1976	5 300	0,005	0,35	1,3	53
1977	< 453	0,004	0,005	1,54	22

[1]) Werte zum Teil gerundet

Kernkraftwerk/Jahr	Abluft			Abwasser	
	Edelgase	Aerosole (HWZ > 8 d)	J-131	Spalt- und Aktivierungsprodukte	H-3
Lingen					
1969	160 000			0,65	26
1970	110 000		0,26	0,61	32
1971	8 700		0,38	0,38	46
1972	5 100		0,15	0,045	24
1973	2 600		0,016	0,024	15
1974	9 500	0,006	0,002	0,014	9
1975	35 000	0,01	1,3	0,045	16
1976	6 400	0,0005	0,050	0,031	15
1977	<133	0,0005	<0,0014	0,010	2,5
Obrigheim					
1969	5 600	<0,013	0,063	10,5	240
1970	7 700	<0,014	0,045	3,2	380
1971	1 500	0,053	0,015	4,4	255
1972	3 200	0,089	0,006	4,6	240
1973	2 900	0,033	0,005	2,2	330
1974	13 500	0,023	0,005	2,1	150
1975	8 000	0,026	0,012	1,8	150
1976	340	0,008	0,0002	1,2	144
1977	370	0,007	0,0006	0,20	116
Stade					
1972	2 400	0,012	0,047	0,32	97
1973	2 600	0,022	0,043	0,37	110
1974	890	0,014	0,011	0,15	32
1975	1 300	0,03	0,010	0,13	114
1976	10 500	0,007	0,020	0,24	45
1977	3 320	0,009	0,026	0,20	142
Würgassen					
1972	590	<0,001	<1 E-4	0,18	3
1973	560	<0,001	<1 E-4	0,45	6
1974	52	0,013	<7 E-4	0,99	4
1975	120	0,011	0,001	0,89	4
1976	480	0,017	0,046	1,1	25
1977	785	0,015	0,028	1,57	42
Biblis A					
1974	50	4 E-4	6 E-5	0,38	8
1975	1 700	0,006	0,005	0,38	110
1976	1 150	0,028	0,013	0,20	320
1977	106	0,0015	0,0005	0,13	180
Biblis B					
1976	300	0,002	0,010	0,26	22
1977	4 100	0,004	0,0034	0,034	155
Neckarwestheim					
1976	520	0,0005	0,002	0,21	5
1977	1 880	0,012	0,046	0,16	83
Brunsbüttel					
1976	970	0,007	2 E-5	0,63	2
1977	3 130	0,072	0,015	1,15	9
Isar					
1977	23	<0,0001	–	0,038	0,04

HWZ = Halbzeitwert; E-4 = 10^{-4}

Die verschieden hohen Abgaben in den einzelnen Jahren sind vor allem durch die von Jahr zu Jahr verschieden lange Betriebsdauer der Kraftwerke bedingt.

Tabelle 9

Jahresabgabe radioaktiver Stoffe aus Kernforschungszentren im Jahre 1977 in Curie/Jahr
(Jahresabgabe im Jahre 1976 in Klammern)

Kernforschungs-zentrum	Abluft							Abwasser		
	Edelgase	Aerosole	J 131	J 129	Tritium	C 14	Sr 90	Spalt- und Aktivierungsprodukte (ohne Tritium)	Tritium	Alpha-strahler
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	193600 (170000)	0,61[1]) (0,305[1]))	< 0,0068 (<0,0045)	0,0028 (0,0106)	1767 (1179[3]))	< 10	0,021	0,017 (0,038)	3975 (4024)	0,0004[2]) (0,0009[2]))
Kernforschungsanlage Jülich	483 (538)	59 (24,9)	0,00062 (0,0013)	– –	113 (174)	< 1	$7 \cdot 10^{-6}$	0,187 (0,186)	159 (97,6)	0,0015 (0,002)

1) davon maximal 0,0035 Ci/a Alphastrahler
2) Pu 238 und Pu 239/240
3) ohne Wiederaufarbeitungsanlage

Tabelle 10

Jahresabgabe radioaktiver Stoffe (Alpha-Aktivität) aus kernbrennstoffverarbeitenden Betrieben im Jahre 1977
(Jahresabgabe im Jahre 1976 in Klammern)

Betrieb	Abluft	Abwasser
ALKEM GmbH (Hanau)	ca. 0,5 µCi (ca. 0,5 µCi)	2,8 µCi (62,1 µCi)
NUKEM GmbH (Hanau)	0,48 mCi (0,71 mCi)	65 mCi (311 mCi)
Reaktor-Brennelement Union GmbH		
Werk I (Hanau)	2,92 mCi (4,72 mCi)	540 mCi (1120 mCi)
Werk II (Karlstein)	< 0,03 mCi (< 0,13 mCi)	10 mCi (10,8 mCi)

Tabelle 11

Maximale Strahlenexposition[1]) im Jahr 1977 für einzelne Expositionspfade in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft

(in Millirem/Jahr)

Expositionsart	äußere Bestrahlung		innere Bestrahlung		
Expositionspfade	Ganzkörper Erwachsener Gammastrahlung aus Abluftfahne	Ganzkörper Erwachsener Gammastrahlung aus Ablagerung a. Boden	Ganzkörper Erwachsener aus gesamter Ingestion und Inhalation[2])	Knochen Erwachsener aus gesamter Ingestion und Inhalation[2])	Schilddrüse Kleinkind aus gesamter Ingestion und Inhalation[3])
Kernkraftwerk					
Kahl	0,03	< 0,01	< 0,01	0,02	3
Gundremmingen	0,06	0,02	< 0,01	0,04	0,01
Lingen	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Obrigheim	0,06	0,06	0,1	0,7	0,3
Stade	0,1	< 0,01	0,02	0,1	2
Würgassen	0,3	0,01	0,2	1	10
Biblis A Biblis B	0,1	< 0,01	0,04	0,2	0,4
Neckarwestheim	0,1	< 0,01	0,05	0,2	7
Brunsbüttel	0,08	< 0,01	0,01	0,07	1
Isar	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

[1]) berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

[2]) berechnet unter der Annahme, daß die Gesamtnahrung am ungünstigsten Aufpunkt erzeugt wird

[3]) Annahme eines Milchverzehrs von 0,8 Liter pro Tag von einer Kuh, die während der Weidezeit dauernd am ungünstigsten Aufpunkt weidet, sowie Annahme, daß die Hälfte des Jodes in elementarer Form vorliegt.

Tabelle 12

Maximale Strahlenexposition und mittlere Strahlenexposition im Jahre 1977 für sämtliche Expositionspfade in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft

(in Millirem/Jahr)

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers Erwachsener über sämtliche Expositionspfade	Mittlere Strahlenexposition des Ganzkörpers Erwachsener für die Bevölkerung im Umkreis von	
		0 bis 3 km	0 bis 20 km
Kahl	0,04	0,001	< 0,001
Gundremmingen	0,09	0,004	< 0,001
Lingen	< 0,01	< 0,001	< 0,001
Obrigheim	0,3	0,02	0,002
Stade	0,1	0,02	0,001
Würgassen	0,5	0,03	0,003
Biblis A Biblis B	0,2	0,03	0,003
Neckarwestheim	0,2	0,02	0,002
Brunsbüttel	0,1	0,008	0,001
Isar	< 0,01	< 0,001	< 0,001

Tabelle 13

Strahlenexposition im Jahre 1977 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser (in Millirem/Jahr)

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen[1]) über				der Knochen über			
	Trinkwasser	Fisch	landwirtschaftliche Produkte	Summe (einschließlich Bestrahlung von außen)	Trinkwasser	Fisch	landwirtschaftliche Produkte	Summe (einschließlich Bestrahlung von außen)
Kahl	< 0,01	0,06	< 0,01	0,06	< 0,01	0,2	< 0,01	0,2
Gundremmingen	0,06	1,1	0,2	2	0,6	6	2,0	8
Lingen	< 0,01	0,1	< 0,01	0,1	< 0,01	0,2	< 0,01	0,2
Obrigheim	< 0,01	0,05	0,01	0,08	< 0,01	0,07	0,01	0,02
Stade	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
Würgassen	< 0,01	0,06	0,03	0,2	0,01	0,06	0,04	0,2
Biblis A Biblis B	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Neckarwestheim	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	0,01	0,01	0,03
Brunsbüttel	< 0,01	0,04	< 0,01	0,04	< 0,01	0,05	< 0,01	0,05
Isar	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

1) Für Einzelpersonen werden extreme Verzehrgewohnheiten (z. B. 39 kg Flußfisch pro Jahr, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird) und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.
2) Für die Bevölkerung werden mittlere Verzehr- und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

Tabelle 14

Strahlenexposition im Jahre 1977 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser
(in Millirem/Jahr)

Kernkraftwerk	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen[1]) Summe einschließlich Bestrahlung am Ufer	Strahlenexposition der Bevölkerung[2]) Ganzkörper Summe einschließlich Bestrahlung am Ufer
Kahl	0,06	< 0,01
Gundremmingen	2	0,1
Lingen	0,1	< 0,01
Obrigheim	0,08	< 0,01
Stade	0,01	< 0,01
Würgassen	0,2	0,02
Biblis A Biblis B	< 0,01	< 0,01
Neckarwestheim	0,02	< 0,01
Brunsbüttel	0,04	< 0,01
Isar	< 0,01	< 0,01

[1]) Für Einzelpersonen werden extreme Verzehrgewohnheiten (z.B. 39 kg Flußfisch pro Jahr, der in der Kühlwasserfahne gefangen wird) und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.
[2]) Für die Bevölkerung werden mittlere Verzehr- und Lebensgewohnheiten zugrunde gelegt.

Tabelle 15

Strahlenexposition im Jahre 1977 in der Umgebung von Kernforschungszentren durch die Abgabe von radioaktiven Stoffen mit der Abluft[1)2)] (in Millirem/Jahr)

Kernforschungszentrum	maximale Strahlenexposition durch				Mittlere Ganzkörperexposition der Bevölkerung im Umkreis von	
	Gamma-Submersion (Ganzkörperdosis)	Beta-Submersion (Hautdosis)	Alpha-Strahler Inhalation (Knochendosis)	Radiojod Ingestion (Schilddrüsendosis Kleinkind)	0 bis 3 km	0 bis 20 km
Kernforschungszentrum Karlsruhe (einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage)	13,1	10,3	0,9[3)]	1,3	< 1,5	0,14
Kernforschungsanlage Jülich	0,23	0,09		1,64	< 0,03	< 0,002

1) Ortsdosen; entnommen den Jahresberichten 1977 der Strahlenschutzabteilungen der Kernforschungszentren Jülich (ZST-Bericht 270) und Karlsruhe (KfK 2620)
2) Maximale Strahlenexposition über Abwasser 1 Millirem/Jahr
3) Über 50 Jahre integrierter Wert

Tabelle 16

Strahlenexposition im Jahre 1977 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Abluft
(in Millirem/Jahr)

Betrieb	Maximale Strahlenexposition[1)] durch Inhalation (Lunge – Kleinkind)
ALKEM GmbH (Hanau)	< 0,01
NUKEM GmbH (Hanau)	1
Reaktor-Brennelement Union GmbH	
Werk I (Hanau)	0,5
Werk II (Karlstein)	< 0,1

[1)] Berechnet für den ungünstigsten Aufpunkt

Tabelle 17

Strahlenexposition im Jahre 1977 in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe durch die Abgabe radioaktiver Stoffe mit Abwasser (in Millirem/Jahr)

Betrieb	Maximale Strahlenexposition des Ganzkörpers für Einzelpersonen über				Strahlenexposition der Bevölkerung (Ganzkörper) Gesamt
	Trinkwasser	Fisch	landw. Produkte	Gesamt	
ALKEM GmbH (Hanau) ..... NUKEM GmbH (Hanau) ..... Reaktor-Brennelement Union GmbH Werk I (Hanau) .... Werk II (Karlstein)	< 0,01	0,07	0,01	0,09	< 0,01

Tabelle 18

Radioaktive Stoffe enthaltende Industrieprodukte für Wissenschaft, Technik, Landwirtschaft und private Haushalte

Warengruppe	Einzelprodukt	Enthaltene Radionuklide	Nutzen
Gas- und Aerosol-Detektoren	Rauch- und Feuermelder	Ra 226, Am 241	Verhinderung von Brandkatastrophen
Antistatika	Diverse Vorrichtungen für Verhinderung von Aufladungen	Ra 226, Am 241	Beseitigung von Unfallgefahren
Vorrichtungen mit Tritiumgasleuchtröhren	Notbeleuchtungen	H 3	
Elektronische Bauteile und elektrotechnische Geräte	Überspannungsableiter	Pm 147	
	Elektronenröhren	Co 60, Cs 137, Kr 85, H 3	Verbesserung der Funktionssicherheit von Geräten, Energieersparnis
Technische Geräte	Prüfstrahler bzw. Eichstrahler	Ir 192, Co 60, Cs 137, Na 22, C 14, Sr 90, Ba 133, Pb 210, Ra 228	Eichen von Strahlungsmeßgeräten, Strahlenschutz
Wissenschaftliche Instrumente	Dicken- und Dichtemeßgeräte	Co 60, Kr 85, Sr 90, Cs 137, Pm 147, Ti 204, Am 241	Ermöglichen bestimmter Leistungen, Technische Hilfsmittel
	Füllstandsmeßgeräte	Co 60, Cs 137	
	Röntgenfluoreszenzanalysengeräte	H 3, Pm 147, Cd 109 Fe 55, Pu 238	Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Instrumenten
	Gaschromatographen	H 3, Ni 63	
	Geräte für Demonstrationszwecke, z. B. in Schulen	Ra 226	Didaktische Hilfsmittel
Geräte, die Leuchtfarben enthalten	Skalen und Zeiger bei Uhren, Kompassen, Luftfahrzeuginstrumenten	H 3, Pm 147	Optische Hilfsmittel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Glaswaren für den Gerätebau	Optische Gläser, optische Linsen	Th nat	Radioindikatoren zur Überwachung der Herstellung bzw. der Qualität von Produkten
Metallegierungen	Stahl/Thorium- Wolfram/Thorium- Molybdän/Thorium- Magnesium/Thoriumlegierungen	Th nat	
Keramische Gegenstände, Glaswaren	Uranfarben für Kacheln und Porzellane	Natürliches oder abgereichertes Uran	Dekor

Tabelle 19

Hautoberflächen-, Keimdrüsen- und Knochenmarkdosen für dosisrelevante Röntgenuntersuchungen bei Erwachsenen (Dosen pro Untersuchung in Rad bzw. Millirad)

Anwendungsbereich	Hautoberflächendosis (rd)				Keimdrüsen und Knochenmarkdosen (mrd)					
	UNSCEAR 1977		BGA 1978		UNSCEAR 1977			BGA 1978		
	Hautoberflächendosen				Keimdrüsen		Knochenmark	Keimdrüsen		Knochenmark
	Mittelw.	Streubr.	Mittelw.	Streubr.	männl.	weibl.		männl.	weibl.	
Magen-Darm	–	6–25	16	1–130	16	56	420	140	400	700
Gallenblase	2,2	1,5–2,8	4,5	0,5–20	6	24	150	36	540	90
Kontrasteinlauf	21,5	5–26	15,0	5–50	530	700	940	160	1000	610
Abdom.-Übers.	1,2	1,0–1,4	1,2	0,4–15	200*	200*	300*	50	150	60
IV Pyelogramm	3,2	1,7–5,0	6	1–10	330	880	240	310	1000	120
Nierenangiographie	3,3	–	30	–				1240	3000	1000
Lendenwirbels.	4,5	–	3,5	0,8–12	180	620	410	130	300	60
Lumbosacralgel.	5,0	5,0–6,0	3,2	1,0–15,0	100*	180*	100*	600	300	350
Becken	3,3	2,1–4,5	2	0,1–7	310	190	190	200	400	90
Schwangersch.-aufnahme	3,2	2,7–3,8	3,6	0,5–10,0		150*	220*		700	350
Hysterosalpingographie	4,6	–	3,9	1,2–25		590	170		240	450
Herzkatheter	47	–	41	4,0–102,0				1700	3600	9000
Mammographie	6	0,2–7,8	2,5	0,2–10,0					< 10	
Thorax	0,8	0,6–0,9	0,14	0,07–0,25	< 5*	< 5*	54	0,4–1,8	1–6	24

* grobe Schätzwerte

Tabelle 20

Strahlenexposition des Erwachsenen bei den häufigsten nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren

Diagnostik von Erkrankungen der	radioaktives Arzneimittel	Applizierte Aktivität (μCi)	Energiedosis (mrd) in		
			Keimdrüsen	rotem Knochenmark	untersuchtem bzw. kritischem Organ
Schilddrüse	J-131 Jodid	50	9	21	105 000 Schilddrüse
	Tc-99m Pertechnetat	1 000	15	22	340 000 Schilddrüse
Nieren	J-131 Hippuran	30	1,6		1400 000 Schilddrüse
Leber	Au-198 Kolloid	150	21	400	5900 000 Leber
	Tc-99m S-Kolloid u. a.	1 500	8,4	4	510 000 Leber
Gehirn	Tc-99m Pertechnetat	10 000	150	220	2000 000 Magen-Darm-Trakt
Skelett	Tc-99m Diphosphonat	10 000	150	350	400 000 Knochen
Lunge	Tc-99m Mikrospheren	2 000	12	30	420 000 Lunge
Vitamin B 12 Resorption	Co-57 Vitamin B 12	0,5	2,1	1,8	

Tabelle 21

Übersicht über Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen im Jahre 1977

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiologischen Folgen
1	2	3	4	5
19. Januar	Vorübergehender Verlust eines Radiumstrahlers (10 mCi) während eines Transports	Unachtsamkeit	keine, da der rad. Stoff alsbald unter behördliche Kontrolle gelangte	
1. Februar	Inkorporation bei Änderungsarbeiten in einem Kernkraftwerk	Fahrlässigkeit	Ikorporation von 600 nCi Sr 90 (1 Mitarbeiter)	Keine gesundheitlichen Schäden zu erwarten, da inkorporierte Aktivität unterhalb des Grenzwertes
8. Februar	Fund radioaktive Stoffe enthaltender Gegenstände aus medizinischer und technischer Anwendung mit einer Gesamtaktivität von ca-10 μCi in einer Wohnung	vermutlich Kleptomanie	keine, da Gefährdungspotential infolge Aktivität und Beschaffenheit der rad. Stoffe gering	-
21. März	Unfall eines LKW der schwach radioaktive Abfälle zur Asse transportierte	Plötzliche Bremsung	keine, da keine Freisetzung radioaktiver Stoffe erfolgte	
5. Mai	Beisetzung des Trägers eines Herzschrittmachers mit Radionuklidbatterie	Nichtbeachtung bestimmter Genehmigungsauflagen	keine, da Exhumierung des Verstorbenen und Explantation des Herzschrittmachers erfolgt	
4. Juni	Beschädigung von 4 Radium-Präparaten mit je 10 mCi im Applikationsraum eines Krankenhauses	Unachtsamkeit	erhebliche Kontaminationen im Raum; bei 2 Patienten Inkorporationen weit unterhalb des Grenzwertes; bei Personal und übrigen Patienten keine Inkorporation nachweisbar	aufgrund Dekontamination keine Personengefährdung
5. Juli	Strahlenbelastung durch defektes Radiographiegerät	Geräteänderung durch Benutzer	ca. 500 rem Teilkörperdosis (Hand)	gesundheitliche Schäden sind nicht auszuschließen

noch Tabelle 21

Datum	Vorkommnis	Ursache	radiologische Folgen	Beurteilung der radiologischen Folgen
1	2	3	4	5
September	Beim Umpumpen sickerten ca. 80 l kontaminiertes Kerosin (ca. 15 μCi) in den Boden	Unachtsamkeit	keine	
12./13. September	Verlust eines Radiographiegerätes mit einem Ir-192-Strahler 28Ci	vermutlich Diebstahl	voraussichtlich keine, da Gerät und Strahler als radioaktiver Stoff gekennzeichnet und da es sich bei der Strahlenquelle um einen umschlossenen radioaktiven Stoff handelt	
6. Oktober und 14. Oktober	Undichtigkeit von 2 Tritiumgas-Lichtquellen	vermutlich Verwendung falschen Materials beim Einbau	Geringfügige Oberflächenkontamination	Aufgrund Dekontamination keine Personengefährdung
24. Oktober	Fund einer Typ-A-Verpackung mit Jod 131 auf einem Kinderspielplatz	Verlust beim Transport mit der Deutschen Bundesbahn	keine, da Verpackung unversehrt aufgefunden	
13. Dezember	Umstürzen eines 200-l-Fasses mit noch nicht abgebundenem Zement-Aktivitätsgemisch	Unachtsamkeit	Kontamination innerhalb der Anlage	Aufgrund Dekontamination keine Personengefährdung
23. Dezember	Verlust einer Strahlerpatrone „Statik-Eliminator 906" mit 20 mCi Po 210	vermutlich Diebstahl	voraussichtlich keine, da der offene radioaktive Stoff durch Einbinden in keramische Kügelchen schwerlöslich ist	